

技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 43(5), 466-471(2015)

DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2015.43.5.466

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

광역관측을 위한 영상레이더 TOPS 모드 설계 기법

김세영, 성진봉*, 이동우, 심상훈

Design Technique for Wide Swath SAR TOPS imaging Mode

Se-Young Kim, Jin-Bong Sung*, Dong-Woo Yi and Sang-Heun Shim

Agency for Defence and Development

ABSTRACT

In this paper, the design technique of the wide swath TOPS(Terrain Observation by Progressive Scan) imaging mode is introduced. The TOPS mode overcomes the scalloping limitations imposed by ScanSAR mode by steering the antenna pattern along track direction during the acquisition of a burst. This paper reports the operation concept of TOPS imaging and mode design result to extract the SAR operational parameters. Finally, several analyzed results such as IRF(Impulse Response Function), NESZ(Noise Equivalent Sigma Zero) and DTAR(Distributed Target Ambiguity Ratio) are presented.

초 록

본 논문에서는 광역 관측을 위하여 새롭게 제안되고 있는 TOPS SAR 운용기법에 대한 모드 설계 및 성능 분석을 수행하였다. TOPS 모드는 기존 ScanSAR 모드의 단점인 scalloping을 개선하기 위하여 새롭게 제안된 모드로서, SAR 진행방향으로 안테나 빔을 조향하면서 영상 데이터를 획득하는 새로운 SAR 영상 획득 기술이다. 본 논문에서는 TOPS 모드에 대한 기술적 운용 개념을 소개하고, SAR 운용 변수를 추출하기 위한 모드 설계 결과를 제시한다. 또한 설계된 모드 변수를 이용하여 SAR 주요 성능인 IRF, NESZ, 및 DTAR을 분석하여 제시한다.

Key Words : Synthetic Aperture Radar(영상레이더), Wide Swath(광역관측), TOPS(진행 방향 안테나 스캔을 통한 지형관측)

1. 서 론

영상레이더(SAR)를 이용한 광역관측 영상 획득 기법으로 지금까지 ScanSAR 방식이 주로 활용되었으나 ScanSAR 방식에 의해 획득한 영상을 살펴보면, 영상 내에서 표적의 위치에 따라 안테나 진폭 변조가 발생하는 현상이 존재하였다. 이와 같은 scalloping 문제를 개선하기 위해서는 지

상에서 검보정 기술을 활용하여 방위방향 안테나 패턴을 정확히 추출하여 영상의 진폭 변조 특성을 보정하여야 하므로 복잡하고 정밀한 검보정 기법이 필요하다[1-3]. 반면 Sentinel-1 위성의 기본모드로 설계된 TOPS 기법을 이용한 광역관측 영상 획득 기법은 SAR 진행방향과 같은 방향으로 안테나 빔을 조향하면서 영상을 획득하므로 지상의 표적들이 방위 방향의 위치에 상관없이

† Received : January 6, 2015 Revised : April 1, 2015

Accepted : April 3, 2015

* Corresponding author, E-mail : courtneys@add.re.kr

안테나의 빔 중심 영역을 따라 획득됨으로써 scalloping 특성이 스캔 손실에 비례하여 영향을 받는다. 즉, 방위방향 모호 특성인 AAR(Azimuth Ambiguity Ratio)의 경우 방위 위치에 관계없이 일정한 특성을 보인다. 또한, TOPS 모드는 안테나 빔을 조향하면서 이동하기 때문에 기존 ScanSAR 방식보다 훨씬 더 넓은 영역을 스캔할 수 있다. 그러나 TOPS 기법을 적용해도 방위방향 안테나 빔 조향 범위가 넓으면 scalloping 감소 효과를 얻을 수 없다[4]. 따라서 scalloping을 고려한 방위방향 안테나 빔 조향각 설계가 필요하다. 본 논문에서는 새롭게 제안되고 있는 TOPS 모드에 대한 운용 개념과 기본 원리에 대해서 살펴보고, 광역 관측을 위한 TOPS 기법에 대한 모드 설계와 성능 분석 결과를 제시한다.

II. TOPS 모드설계 및 성능분석

2.1 TOPS 기본 원리

TOPS 모드는 고해상도 영상 획득을 위하여 지상 표적을 조향하는 Spotlight 모드와 상반되는 안테나 빔 조향을 통하여 지상 표적에 대한 데이터를 획득한다. Fig. 1과 같이 안테나 빔 회전축이 SAR 탑재체보다 높은 고도에 위치하므로 SAR 탑재체는 회전각에 따라 앞으로 전진하면서 데이터를 획득한다.

TOPS 모드는 안테나 빔을 회전함으로써 burst 단위로 긴 영상을 획득할 수 있는 장점이 있으나 burst 내에 위치한 모든 표적의 dwell time은 줄

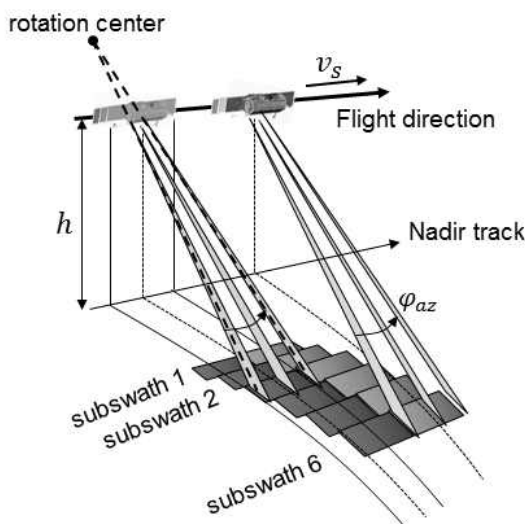


Fig. 1. Scanning scheme for TOPS acquisition

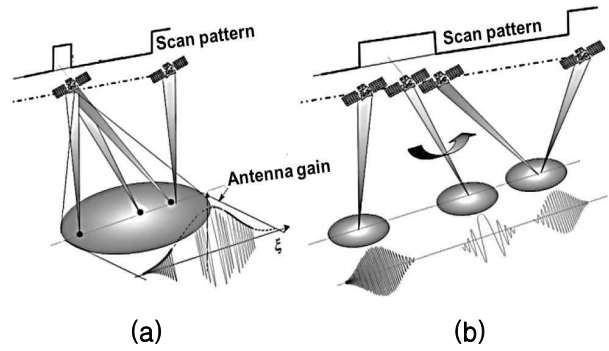


Fig. 2. Scanning scheme and impulse response function (real part, after compression), for (a) a ScanSAR mode, and (b) a TOPS mode

기 때문에 방위 방향 해상도가 저하되는 단점이 있다. ScanSAR 모드는 dwell time과 burst time이 동일하지만, TOPS 모드는 burst time이 dwell time 보다 훨씬 길다.

Figure 2는 TOPS 모드와 ScanSAR 모드 간의 방위 방향 표적 성능 특성을 비교한 것이다[5]. 방위방향 표적을 기준으로 안테나 진폭 특성의 영향을 받는 ScanSAR 모드와는 달리 TOPS 모드는 방위방향 빔 조향에 의해 모든 표적이 거의 동일한 크기의 안테나 진폭을 경험한다.

방위 방향 안테나 패턴을 sinc 형태로 가정하면, 점표적에 의해 경험되는 TOPS 안테나 패턴은 다음과 같이 정의할 수 있다[1].

$$G_{az}(\psi(\tau)) \cong G_0 s \operatorname{sinc}^2 \left(\frac{L}{\lambda} \left(\frac{v_g \tau}{R_0} + |\psi_{az}| \tau \right) \right) \quad (1)$$

$$\cong G_0 s \operatorname{sinc}^2 \left(\frac{L}{\lambda} \frac{v_s \tau}{R_0} \left(1 + \frac{R_0 |\psi_{az}|}{v_g} \right) \right)$$

여기서 ψ_{az} 는 안테나 빔 조향 변화율을 나타내며, τ 는 slow time, v_g 는 지상속도, v_s 는 SAR 이동 속도, λ 는 파장, R_0 는 burst 중심점에서의 경사거리, L 은 방위방향 안테나 길이를 나타낸다.

TOPS 모드에서의 방위방향 해상도 $\Delta \delta_{az, TOPS}$ 는 Stripmap 모드 해상도 $\Delta \delta_{az, Strip}$ 에 비하여 다음 수식과 같이 α 배 만큼 증가한다.

$$\alpha = 1 + \frac{R_0 \psi_{az}}{v_g} \quad (2)$$

$$\Delta \delta_{az, TOPS} = \Delta \delta_{az, Strip} \cdot \alpha = \frac{\lambda}{2\theta_0} \left(1 + \frac{R_0 \psi_{az}}{v_g} \right)$$

여기서 θ_0 는 방위방향 안테나 빔폭을 나타내

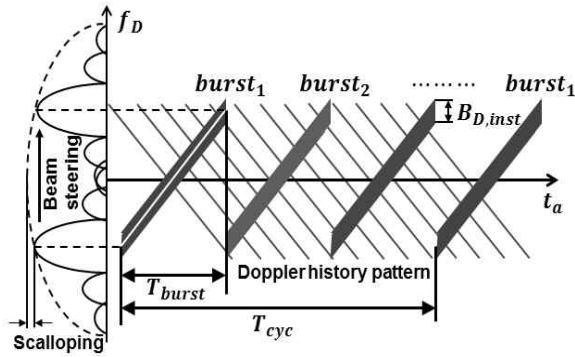


Fig. 3. Doppler-timing diagram in TOPS mode

며, 방위방향 해상도, 모호 신호에 대한 제거율 그리고 신호 대 잡음 특성의 성능 비교를 통해 선택해야한다. θ_0 는 burst 단위로 다른 값을 갖도록 설계되며, 다음과 같이 빔 조향 관련 변수를 유도할 수 있다.

$$\psi_{az} = \left(\frac{2\theta_0 \cdot \Delta \delta_{az}}{\lambda} - 1 \right) \frac{v_g}{R_0} \quad (3)$$

안테나 빔 조향 변화율이 계산되면, 전체적인 SAR 운용 타이밍이 결정된다. 진행 방향으로 burst 간에 중첩을 고려하여 burst time T_{burst} , cycle time T_{cyc} , 그리고 burst 길이 L_{burst} 을 계산한다. 여기서 T_{int} 는 방위방향 해상도를 얻기 위한 dwell time, T_{gap} 는 burst 간에 중첩을 고려한 여분, 그리고 v_B 는 안테나 빔 스캔 속도를 나타내며, n 은 subswath 숫자를 나타낸다.

$$T_{burst,i} = \frac{L_{burst,i}}{v_B} + T_{int,i} \quad (4)$$

$$T_{cyc} = \sum_{i=1}^n T_{burst,i} + T_{gap,i}$$

Figure 3은 TOPS 모드의 시간 및 주파수에 대한 특성을 도시한 것으로 방위방향 안테나 빔 조향에 의해 scalloping 효과가 감소하는 것을 볼 수 있다.

2.2 TOPS 모드 설계

ScanSAR 기법과는 달리 TOPS 모드설계는 보다 고려할 사항이 많다. 먼저, 방위방향 안테나 빔 조향을 고려한 안테나 빔 패턴을 생성해야한다. 단일 소자 패턴을 반영하여야 하며 빔 조향에 따른 grating lobe 발생을 고려하여야 한다.

Table 1. System Parameter

Parameter	Value	Unit	Remark
Altitude	505	km	
Antenna length	4	m	
Antenna height	1.056	m	
Antenna directivity	47.1	dBi	
Tx power	10	W	단일 T/R Module 출력
Tx loss	0.7	dB	
Rx loss	0.7	dB	
Noise figure	3.1	dB	
IRF broadening	2	%	H/W 오차
Atmospheric loss	0.5	dB	2-way
Rain loss	0.4	dB	2-way

다음으로, burst 길이와 영상획득 개수를 고려하여 subswath 개수를 선정하여야 한다.

TOPS 모드의 기본적인 모드 변수를 설계하기 위한 시스템 변수를 Table 1에 정의하였다.

Table 1에 정의된 시스템 변수를 기반으로 다음과 같은 모드설계 절차에 따라 모드 변수를 획득하였다.

- ① PRF(Pulse Repetition Frequency) 다이어그램 다이어그램에서 적합한 swath 선택
- ② Range coverage 및 swath 간 중첩 확인
- ③ 선택된 swath 별로 PRF 및 입사각 생성
- ④ swath별 도플러 변화율, 유효 레이더 및 지상 속도, 빔 속도 계산
- ⑤ 거리방향 해상도를 기반으로 송신 대역폭 계산
- ⑥ 방위방향 코히어런트 누적 시간 계산
- ⑦ 순시도플러 대역폭 정의를 위한 안테나 방위 빔폭 정의
- ⑧ 안테나 방위 빔 조향 변화율 계산
- ⑨ 최대 안테나 방위 빔 조향 범위 계산
- ⑩ Burst 시간/길이, 스캔 사이클 계산

설계된 모드 변수 결과를 이용하여 입사각 20° 부터 입사각 60° 범위에서 총 6개의 swath를 갖도록 설계하였으며, 각 swath는 각각 6개의 subswath를 갖도록 설계하였다. 따라서 총 subswath 개수는 36이며, swath마다 거리방향 영상폭은 100 km를 갖는다. 첫번째와 6번째 swath에 해당하는 결과를 표 2에 제시하였다. 입사각 20° 를 포함하는 첫번째 swath에 대한 결과를 살펴보면, burst 당 계산된 시간은 약 0.41초이며, burst 길이는 대략 17.34 km로 설계하였다.

Table 2. Mode Design Result of TOPS mode

Parameter		Swath #1						Swath #6					
		S1-1	S1-2	S1-3	S1-4	S1-5	S1-6	S6-1	S6-2	S6-3	S6-4	S6-5	S6-6
Incidence angle [°]	Near	20.0	21.8	23.5	25.3	26.9	28.6	55.6	56.4	57.1	57.9	58.6	59.3
	Mid	20.9	22.7	24.4	26.1	27.8	29.4	56.0	56.7	57.5	58.2	58.9	59.6
	Far	21.8	23.5	25.3	26.9	28.6	30.2	56.4	57.1	57.9	58.6	59.3	60.0
Total swath width [km]		100						100					
Swath width [km]		16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67
Integration time [sec]		0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Tx bandwidth [MHz]		21.8	20.1	18.6	17.4	16.4	15.5	9.03	8.94	8.86	8.79	8.72	8.66
Pulse length [usec]		15.4	15.3	12.5	15.3	15.5	18.5	25.14	25.31	25.98	27.11	27.55	28.56
PRF [Hz]		6477	6539	7975	6523	6437	5419	3872	3953	3849	3689	3630	3502
Beam velocity [km/s]		52.6	52.6	52.6	52.6	52.6	52.6	52.6	52.6	52.6	52.6	52.6	52.6
Beam steering rate [°/s]		4.86	4.80	4.75	4.68	4.62	4.56	3.11	3.06	3.01	2.96	2.92	2.87
Scan cycle [s]		2.46						3.82					
Burst length [km]		17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	17.34	26.78	26.78	26.77	26.76	26.75	26.75
Burst time [s]		0.40	0.40	0.41	0.41	0.41	0.41	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Time gap [ms]		3.61	3.65	3.70	3.75	3.80	3.85	5.65	5.74	5.84	5.93	6.03	6.12

입사각 60°를 포함하는 6번째 swath에 대한 결과를 살펴보면, 경사거리 증가에 의해 burst 당 계산된 시간은 약 0.63 초로 증가하였으며, burst 길이도 대략 26.7 km로서 증가하였고, burst 당 gap 시간은 5.65 msec 이상으로 증가하였다.

Figure 4는 PRF 다이아몬드 다이어그램을 도시한 것으로 subswath별 입사각 범위에서의 PRF 값을 볼 수 있다. 개별 PRF는 송신신호 간섭과 수직하방(nadir) 간섭이 없는 영역으로 선택한 것을 확인할 수 있다.

Figure 5와 Figure 6은 첫 번째 subswath S1-1에서의 방위방향 안테나 빔 패턴을 도시한 것이다. Fig. 5는 burst 시작지점인 최대 방위 빔 조향각 0.98°에서의 빔 패턴으로 실선은 방위방향 안테나 빔패턴이고 점선은 단일 소자 패턴을 나타낸 것으로 빔 조향에 의해 grating lobe가 발생하는 것을 볼 수 있다.

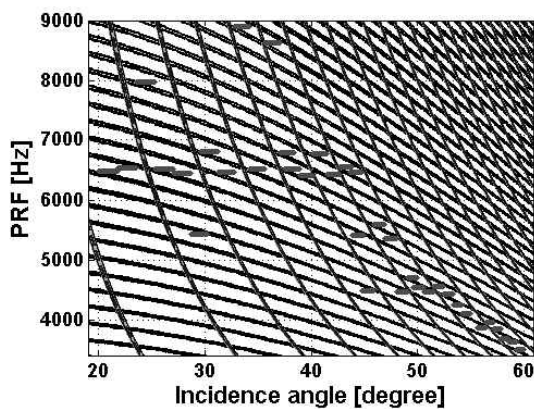


Fig. 4. PRF Diamond Diagram

Figure 6은 subswath 1-1 burst 구간을 위한 방위방향 안테나 빔 패턴의 주엽 레벨을 도시한 것으로 최초 빔 조향각 $\psi_1(0.98^\circ)$ 부터 burst 종료

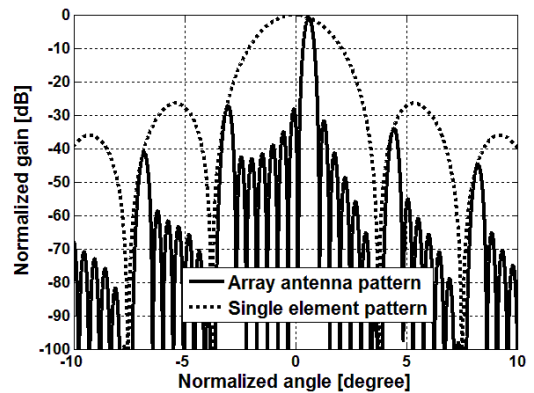


Fig. 5. Azimuth Antenna Pattern in subswath S1-1

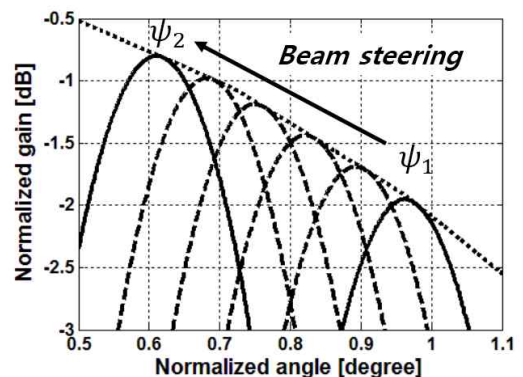


Fig. 6. Azimuth Antenna Pattern during the burst in subswath S1-1

지점 빔 조향각 $\psi_2(0.62^\circ)$ 까지를 나타내었다.

Subswath 1-1 burst 구간에서의 방위방향 안테나 이득 차이는 약 0.8 dB이다. swath 내에서의 안테나 이득 차이는 swath 내의 표적 위치에 따른 NESZ 특성에 영향을 미친다. ScanSAR 기법과 TOPS 기법을 적용한 경우에서의 표적 위치에 따른 NESZ 특성을 살펴보면, TOPS 기법을 적용했을 때의 차이가 ScanSAR 기법을 적용했을 때보다 1 dB 이상 개선되었다.

2.3 TOPS 모드 성능 분석 결과

Table 1에 정의한 입력 변수와 표 2에서 얻어진 모드 설계 결과를 이용하여 TOPS 모드에 대한 주요 SAR 성능분석을 수행하였다. TOPS 모드 성능에 있어서 가장 중요한 지표 중 하나는 임펄스 응답 특성으로서 모드 변수 설계시 해상도를 설계 입력 조건으로 반영하여 설계를 수행하였으며, PSLR(Peak Side Lobe Ratio) 및 ISLR(Integrated Side Lobe Ratio) 특성에 대한 요구조건을 만족시키기 위하여 방위 및 거리 방향으로 각각 0.54 및 0.79 Hamming weighting 함수를 적용하였다. 또한 하드웨어에서 발생하는 오

차 성분을 2%로 가정하여 해석을 수행하였다.

입사각 55° 에서의 거리 및 방위방향 IRF 특성을 Fig. 7과 Fig. 8에 각각 나타내었다. 거리방향 IRF 결과를 이용하여 분석한 PSLR과 ISLR은 모든 subswath에서 각각 -19 dB 이하와 -14.6 dB 이하를 얻었다.

방위방향 IRF 결과를 이용하여 분석한 PSLR과 ISLR은 모든 subswath에서 각각 -42 dB 이하와 -19.5 dB이하를 얻었다.

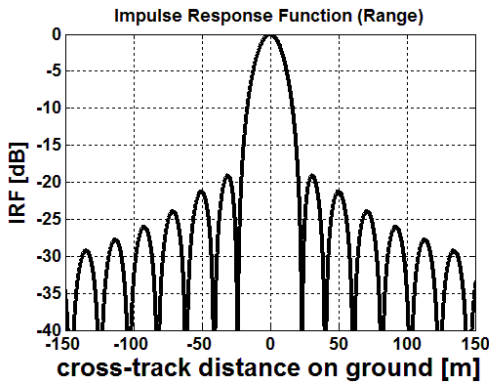


Fig. 7. IRF performance in cross-track direction

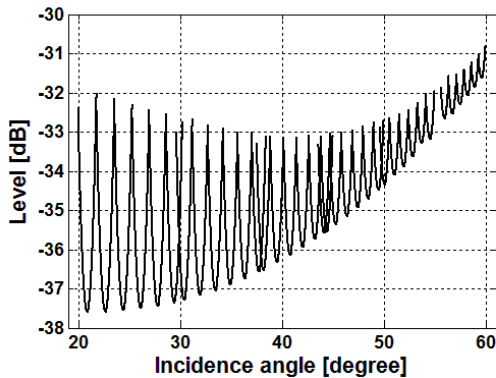


Fig. 8. NESZ performance

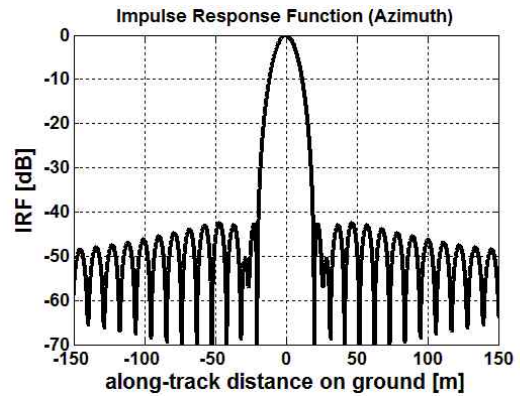


Fig. 9. IRF performance in along-track direction

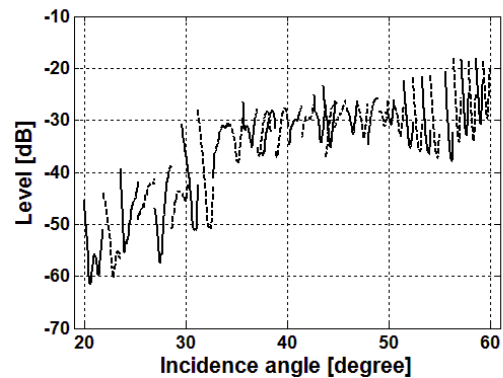


Fig. 10. RAR performance

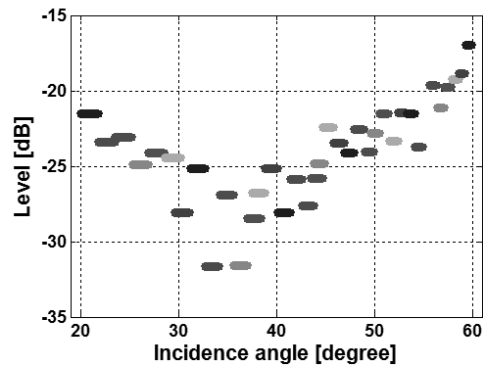


Fig. 11. AAR performance

시스템 감도 특성을 나타내는 NESZ 특성을 Fig. 9에 제시하였으며 영상에서 DTAR 특성을 나타내는 RAR(Range Ambiguity Ratio)과 AAR 특성은 Fig. 10과 Fig. 11에 각각 나타내었다.

NESZ 및 RAR 특성은 안테나 패턴에 의해 크게 영향을 받으므로 모드 변수 설계와 안테나 패턴에 대한 전반적인 최적화 작업이 반드시 수행되어야 한다. NESZ 특성은 전반적으로 -33 dB 근처인 특성을 얻었으며, RAR 및 AAR의 경우 입사각 55° 근처까지 -25 dB 이하인 우수한 특성을 얻었다.

III. 결 론

본 논문에서는 TOPS 모드에 대한 기본 원리를 수식과 더불어 제시하였고, 시스템 변수를 기반으로 모드 설계를 수행하였으며, 최종적으로 성능 분석 결과를 제시하였다. TOPS 성능 분석 결과를 바탕으로 모드 설계와 안테나 빔 패턴이 최적화되었음을 확인하였다.

References

1) Francesco De Zan and Andrea Monti Guarnieri, "TOPSAR: Terrain Observation by

Progressive Scans", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 44, no. 9, Sep. 2006, pp. 2352-2360.

2) Adriano Meta, Josef Mittermayer, Pau Prats, Rolf Scheiber, and Ulrich Steinbrecher, "TOPS Imaging With TerraSAR-X: Mode Design and Performance Analysis", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. 48, no. 2, Feb. 2010, pp.759-769.

3) T. B. Oh, C. H. Jung, S. H. Song, J. M. Shin and Y. K. Kwag, "Development of SAR Image Quality Performance Analysis Tool for High Resolution Spaceborne Synthetic Aperture Radar", Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 38, no. 2, , 2010, pp. 188~194

4) S. Wollstadt, P. Prats, "Scalloping Correction in TOPS Imaging Mode SAR Data", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 9, no. 4, Sep. 2012, pp.614-618.

5) D. D'Aria, F. De Zan, D. Giudici, A. Monti Guarnieri, and F. Rocca, "Burst-mode SARs for wide-swath surveys", Journal of Remote Sensing, vol. 33, no. 1, Feb. 2007, pp. 27 - 38.