



위성 SAR 스퀀트 기하에서 NESZ 및 관측폭의 실험적 분석

윤수성*

An Experimental Analysis of NESZ and Swath Width in Squint Geometry for Space-Borne SAR Imaging

Soo-Sung Yoon*

요약

스퀀트를 통한 스포트라이트 모드는 일반적인 스포트라이트 모드에 비해 넓은 관심지역에서 다수의 SAR 영상을 확보 할 수 있는 방식이다. 이 방식은 위성이 표적 중심사이와의 거리가 가장 가까운 지점을 지나지 않고, SAR 운용 입사각을 만족하는 지점에서 SAR 영상 데이터를 획득 할 수 있다. 따라서 스퀀트 운용은 SAR 영상 데이터를 획득 할 수 있는 시간을 보다 길게 확보할 수 있으므로, 영상 획득 수량을 증가시키며 고 해상도의 SAR 영상을 획득 할 수 있다. 하지만, 스퀀트 운용은 SAR 영상품질의 변화를 유발시킨다. 특히, 스퀀트 기하로 인해 영상품질 중 중요한 요소인 NESZ와 관측폭이 변화된다. 따라서 SAR 센서의 최적설계를 위해서는 스퀀트 기하에서의 NESZ 및 관측폭 분석이 필수적으로 선 수행되어야 한다. 본 논문에서는 위성 SAR 스퀀트 기하에서 기하관계 유도를 통해 NESZ 및 관측폭 분석을 수행하였다. 또한 빔폭 조정을 이용한 NESZ 및 관측폭 분석 결과 제시를 통해 스퀀트에서 NESZ 및 관측폭에 관한 SAR 센서 설계 방향성을 제시하였다.

Abstract

Spotlight mode with a squint operation could acquire more SAR images within a wide area of interest than a conventional spotlight mode. In the squint operation, a satellite can take SAR image data at a point satisfying an operational incidence angle without passing a closet point between the satellite and the center of target. Therefore, it can reserve longer SAR image data acquisition time than the conventional spotlight mode. Thus, it can take the high resolution of SAR images with the increased number of them. However, the squint operation might induce a variation of image quality. Specially, NESZ and swath width, which are the critical factors among the SAR image qualities, could be varied due to a geometric change. Therefore their analyses in the squint geometry are essentially required to optimize a SAR sensor mode design. In this paper, I conducted the NESZ and swath width analyses in the squint geometry using a geometric relationship in the space-borne SAR geometry. Furthermore, I presented the directionality of SAR sensor design regarding the NESZ and swath width by presenting analysis results via beamwidth adjustments.

Keywords

SAR sensor, image quality, noise sigma equivalent zero, swath width, squint angle, space-borne SAR

* 국방과학연구소
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9823-1840>

• Received: Apr. 06, 2018, Revised: May 04, 2018, Accepted: May 07, 2018
• Corresponding Author: Soo-Sung Yoon
Defence Satellite System PMO, Agency for Defence Development
Yuseong P.O.Box 35, DaeJeon, 34186, Korea.
Tel.: +82-42-821-0928, Email: mercury@add.re.kr

1. 서론

스캔트를 통한 스포트라이트(Spotlight) 모드는 넓은 관심지역에서 다수의 SAR 영상을 확보할 수 있는 방식이다. 이 방식은 일반적인 스포트라이트 모드(브로드사이드, Broadside)에 비해 방위방향의 전자적 빔 조향 또는 플랫폼 기동을 크게 하는 방식으로써, 스캔트 각(Squint Angle)을 통해 안테나의 지향방향을 표적과의 수직 지향방향으로부터 앞 또는 뒤 방향으로 지향하도록 하는 방식이다[1](그림 1,2 참조). 따라서 이 방식은 위성이 표적 중심사이와의 거리가 가장 가까운 지점을 지나지 않고 SAR (Synthetic Aperture Radar) 운용 입사각(Incidence Angle)을 만족하는 지점부터 SAR 영상 데이터를 획득할 수 있다. 따라서 데이터를 획득할 수 있는 시간을 보다 확보할 수 있으므로, 영상 획득 수량을 증가시키며 고 해상도의 SAR 영상을 획득할 수 있다.

하지만, 스캔트 운용은 영상품질 변화를 유발한다[2][3]. 과거 참고문헌 [4]-[6]에서는 스캔트에서의 영상품질 분석으로 해상도, PSLR(Peak to Side-Lobe Ratio), ISLR(Integrated Side-Lobe Ratio)에 대한 분석 및 연구가 수행되었다. 하지만 현재까지 스캔트에서의 NESZ(Noise Equivalent Sigma Zero) 및 관측폭(Swath Width)에 관한 분석은 미비하다. NESZ 및 관측폭은 SAR 영상품질 중 중요한 요소이기 때문에 SAR 센서의 최적설계를 위해서는 스캔트 기하에서의 NESZ 및 관측폭 분석이 필수적으로 선행되어야 한다.

본 논문에서는 위성 SAR 스캔트 기하에서 NESZ 및 관측폭 분석을 수행하였다. 특히, 브로드사이드 대비 스캔트에서의 NESZ 및 관측폭을 분석하였다. 또한 빔폭(Beamwidth) 조절을 이용한 NESZ 및 관측폭 분석 결과 제시를 통해 스캔트에서 NESZ 및 관측폭에 관한 SAR 센서 설계 방향성을 제시하였다. 이를 위해 SAR 위성 기하에서 스캔트 각이 주어졌을 때 기하 변화를 [3]의 스캔트 각과 지상 스캔트 각(Ground Squint Angle) 관계와 직각구면 삼각형(Right Spherical Triangle) 공식[7]을 이용하여 유도하였다. 본 논문은 [8]을 기반으로 관측폭 분석과 빔폭 조절을 통한 NESZ 및 관측폭 분석을 추가하여 폭 넓은 실험을 수행하였다.

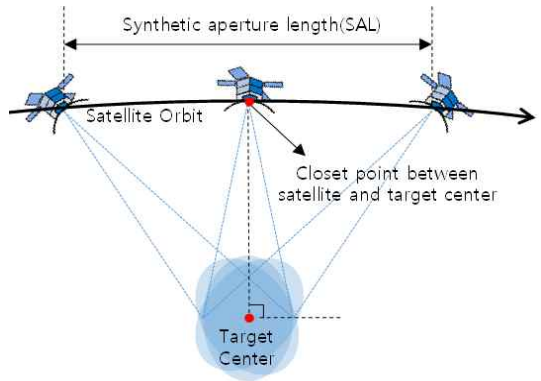


그림 1. 일반적인 스포트라이트 모드(브로드사이드) SAR 데이터 획득 방식 예제

Fig. 1. An example of the SAR data acquisition process in the conventional spotlight mode(broadside)

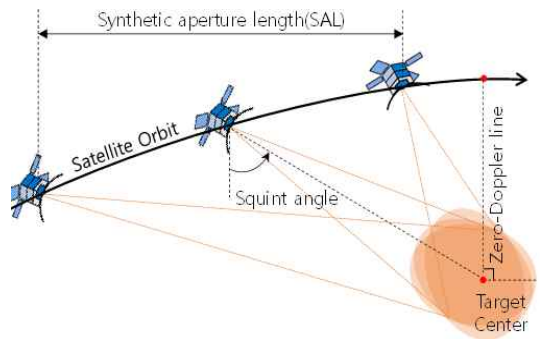


그림 2. 스캔트에서의 스포트라이트 모드 SAR 데이터 획득 방식 예제

Fig. 2. An example of SAR data acquisition process in the spotlight mode with the squint operation

본 논문은 다음과 같이 구성되어있다. 2장에서는 본 논문에서 분석되는 NESZ와 관측폭에 대한 이론을 상세히 기술하였고, 3장에서는 NESZ 및 관측폭 분석을 위한 위성 SAR에서 스캔트 기하 변화에 대해 기술하였다. 4장에서는 스캔트에서의 기하 변화를 바탕으로 실험 및 분석을 수행하여 결과를 제시하였다. 끝으로, 5장에서 결론 및 향후 과제에 대해 기술하였다.

II. NESZ 및 관측폭 이해

분석에 앞서 본 장에서는 NESZ 및 관측폭에 대한 이해를 돕기 위해 NESZ 및 관측폭에 대한 이론을 상세히 기술하였다.

2.1 NESZ

NESZ는 SAR 센서의 이론적인 성능 지표로써, SNR(Signal to Noise Ratio) 이 1일 때, 즉, 전송파워와 잡음파워가 같을 때의 표면 산란 계수(Surface Scattering Coefficient) 또는 표적의 레이더 유효 반사 면적(Radar Cross Section)으로 정의된다[9].

NESZ는 다음과 같은 레이더 공식으로부터 유도될 수 있다[10].

$$P_r = \frac{P_t G_a^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_s^4 L_t} \quad (1)$$

위식에서 P_r 은 수신 파워, P_t 는 절정 전송 파워, G_a 는 안테나 이득, λ 는 파장, σ 는 유효 반사 면적, R_s 는 경사거리, L_t 는 시스템 총 손실을 나타낸다.

식 (1)을 이용하여, SNR 정의에 따라 SNR은 다음과 같이 표현된다.

$$SNR = \frac{P_r}{N_0} = \frac{P_t G_a^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_s^4 L_t N_0} \quad (2)$$

N_0 는 잡음 파워를 나타낸다. 이때, 수신 단의 열적 잡음은 kT_0 으로 표현되므로, 수신 단의 총 잡음 파워는 실험적으로 정해지는 상수 잡음수치 NF 와 함께 $(kT_0)(NF)$ 로 표현된다. 즉, $N_0 = (kT_0)(NF)$.

위 식들을 이용하여, 펄스폭 τ 를 갖는 단위 펄스의 SNR을 다시 표현하면 다음과 같이 표현된다.

$$SNR = \frac{P_t G_a^2 \lambda^2 \tau \sigma}{(4\pi)^3 R_s^4 (kT_0)(NF) L_t} \quad (3)$$

k 는 볼츠만 상수, T_0 는 잡음온도를 나타낸다. 따라서 SAR 신호처리 후, RCS σ 를 갖는 점 표적에 대한 SNR(SNR_p)은 다음과 같이 표현된다.

$$SNR_p = \frac{P_t G_a^2 \lambda^2 \tau \sigma n}{(4\pi)^3 R_s^4 (kT_0)(NF) L_t} \quad (4)$$

n 은 합성 개구면을 구성하는 펄스의 총 개수로써, 합성 개구면 시간(Synthetic Aperture Time) t_{syn} 과 펄스 반복 주파수 PRF 의 곱으로 다음과 같이 표현된다[10].

$$n = t_{syn} (PRF) \quad (5)$$

이때, 합성 개구면 시간은 다음과 같이 표현된다.

$$t_{syn} = \frac{L_{syn}}{V_{sat}} = \frac{R_s \theta_{syn}}{V_{sat}} = \frac{R_s \lambda}{2 V_{sat} \delta_a} \quad (6)$$

L_{syn} 은 합성 개구면 길이, V_{sat} 은 위성 속도, θ_{syn} 은 합성 개구면 각도, δ_a 은 방위해상도를 나타낸다.

식 (5), (6)을 이용하여, 식 (4)를 정리하여 표현하면 다음과 같이 표현된다.

$$SNR_p = \frac{P_t G_a^2 \lambda^3 \tau \sigma (PRF)}{2(4\pi)^3 R_s^3 V_{sat} (kT_0)(NF) L_t \delta_a} \quad (7)$$

이때, RCS σ 는 방위해상도 δ_a , 거리해상도 δ_r , 표면 산란 계수 σ_0 와 함께 $\sigma = \delta_a \delta_r \sigma_0$ 로 표현되고[10], 거리해상도는 아래와 같이 표현된다[11].

$$\delta_r = \frac{c}{2(BW)\sin(\theta_{in})} \quad (8)$$

식 (8)에서 c 와 BW , θ_{in} 는 각각 빛의 속도, 송신 대역폭, 입사각을 나타낸다. 이때, 식 (8)을 이용하여 식 (7)을 다시 표현하면 다음과 같다.

$$SNR_p = \frac{P_t G_a^2 \lambda^3 c \tau \sigma_0 (PRF)}{4(4\pi)^3 R_s^3 V_{sat} \sin(\theta_{in}) (kT_0)(NF)(BW) L_t} \quad (9)$$

따라서 NESZ는 다음 수식과 같다.

$$NESZ = \frac{4(4\pi)^3 R_s^3 V_{sat} \sin(\theta_{in}) (kT_0)(NF)(BW) L_t}{\lambda^3 c G_a^2 \tau P_t (PRF)} \quad (10)$$

2.2 관측폭

관측폭은 SAR 센서의 안테나 빔에 의해서 SAR 위성이 지상을 관측할 수 있는 영역의 길이를 의미한다[12].

관측폭 SW 는 입사각 θ_{in} , 고도 H , 안테나 빔폭 θ_{bw} 이 주어졌을 때, 다음과 같이 유도될 수 있다 (그림 3 참조).

$$SW = R_e (\theta_{e,f} - \theta_{e,n}) \quad (11)$$

R_e 는 지구 반지름이며, $\theta_{e,n}$, $\theta_{e,f}$ 는 각각 근 및 먼 지구 중심각으로써 다음과 같이 표현된다.

$$\theta_{e,n} = \theta_{in,n} - \theta_{lk,n} \quad (12)$$

$$\theta_{e,f} = \theta_{in,f} - \theta_{lk,f} \quad (13)$$

$\theta_{in,n}$, $\theta_{in,f}$ 는 각각 근 및 먼 입사각, $\theta_{lk,n}$, $\theta_{lk,f}$ 는 각각 근 및 먼 관측각으로써 다음과 같이 표현된다.

$$\theta_{in,n} = \sin^{-1} \left[\sin(\theta_{lk,n}) \frac{R_e + H}{R_e} \right] \quad (14)$$

$$\theta_{in,f} = \sin^{-1} \left[\sin(\theta_{lk,f}) \frac{R_e + H}{R_e} \right] \quad (15)$$

$$\theta_{lk,n} = \theta_{lk} - \frac{\theta_{bw}}{2} \quad (16)$$

$$\theta_{lk,f} = \theta_{lk} + \frac{\theta_{bw}}{2} \quad (17)$$

관측각 θ_{lk} 는 다음과 같이 표현된다.

$$\theta_{lk} = \sin^{-1} \left[\sin(\theta_{in}) \frac{R_e}{R_e + H} \right]. \quad (18)$$

따라서 $\theta_{e,n}$, $\theta_{e,f}$ 를 주어진 입사각, 빔폭, 고도로 표현 가능하기 때문에 식 (11)을 통해 관측폭을 구할 수 있다.

III. 스캔트 및 NESZ 분석을 위한 스캔트에서의 기하 변화

그림 4는 스캔트에서의 기하 예시이다. 그림에서 θ_{sq} , $\theta_{sq,g}$ 는 각각 스캔트 각과 지상 스캔트 각, 즉, 스캔트 각의 지상으로의 정사영을 의미한다.

그림을 살펴보면 알 수 있듯이, 스캔트 기하에서는 브로드사이드에서의 입사각과 경사거리 대비하여 스캔트 입사각 $\theta_{in,sq}$ 과 스캔트 경사거리 $R_{s,sq}$ 로 변화하게 되고, 그 값이 커지는 것을 직관적으로 알 수 있다.

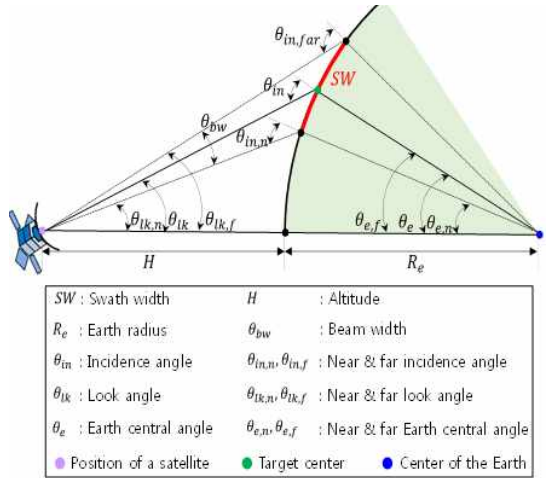


그림 3. 관측폭 기하 예제
Fig. 3. An example of geometry for swath width

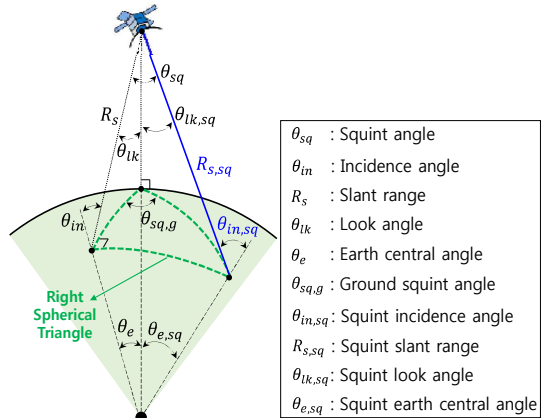


그림 4. 기하 변화 관계 유도를 위한 스캔트에서의 기하 예시
Fig. 4. An example of squint geometry for deriving the geometry change

이와 연관하여, 식 (10)과 (11)~(18)에서 알 수 있듯이, 모든 조건이 동일하다고 가정할 때 입사각과 경사거리가 NESZ와 관측폭에 주요하게 영향을 주는 요소라는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 스퀀트 입사각과 브로드사이드 입사각과의 관계를 알 수 있다면 주어진 변수를 통해 브로드사이드 대비하여 스퀀트에서의 NESZ와 관측폭을 분석할 수 있게 된다.

이를 위해 본 논문에서는 [3]의 수식을 이용하여 주어진 입사각과 고도를 통해 스퀀트 각으로부터 지상 스퀀트 각을 구하고, 유도한 지상 스퀀트 각으로부터 직각 구면 삼각형 공식을 통해 스퀀트 입사각을 구하였다.

첫째, 지상 스퀀트 각을 다음 식으로부터 구하였다[3].

$$\sin(\theta_{sq}) = \frac{\sin(\theta_{sq,g})\sin(\theta_{lk})}{\sqrt{\cos^2(\theta_e) - \sin^2(\theta_{sq,g})\cos^2(\theta_{lk})}}, \quad (19)$$

관측각 θ_{lk} 와 지구 중심각 θ_e 는 식 (12)와 (18)을 통해 주어진 입사각 θ_{in} 을 통해 구할 수 있기 때문에 주어진 입사각과 스퀀트 각을 통해 지상 스퀀트 각을 구할 수 있다.

둘째, 지상 스퀀트 각과 주어진 입사각을 통해 다음의 수식으로 스퀀트 입사각을 구하였다.

$$\theta_{in,sq} = \theta_{lk,sq} + \theta_{e,sq} \quad (20)$$

$\theta_{lk,sq}$ 및 $\theta_{e,sq}$ 는 각각 스퀀트 관측각, 스퀀트 지구 중심각을 나타내며, $\theta_{lk,sq}$ 는 $\theta_{e,sq}$ 로 다음 식을 이용하여 구할 수 있다[7].

$$\theta_{lk,sq} = \tan^{-1} \left[\frac{\sin(R_e/(R_e + H))\sin(\theta_{e,sq})}{1 - \sin(R_e/(R_e + H))\cos(\theta_{e,sq})} \right], \quad (21)$$

이때, $\theta_{e,sq}$ 는 직각 구면 삼각형 공식을 이용하여 지상 스퀀트 각과 브로드사이드에서의 지구 중심각 θ_e 를 통해 다음과 같이 구할 수 있다(직각 구면 삼각형은 그림 4의 녹색 점선 참조).

$$\theta_{e,sq} = \tan^{-1} \left[\frac{\tan(\theta_{sq,g})}{\cos(\theta_e)} \right], \quad (22)$$

θ_e 는 주어진 입사각과 고도를 통해 계산이 가능하므로, 위 수식들을 이용하여 입사각과 스퀀트 각을 통해 스퀀트 입사각을 구할 수 있게 된다.

IV. 실험결과 및 분석

본 절에서는 스퀀트 기하에서 NESZ 및 관측폭에 대한 각각의 분석결과 제시하였다. 또한 빔폭 조절을 이용하여 NESZ 및 관측폭 분석 결과 제시를 통해 스퀀트에서 NESZ 및 관측폭에 대한 SAR 센서 설계 방향성을 제시하였다. 브로드사이드 대비 상대적인 분석을 위해서 본 절에 제시한 결과 값은 절대 값이 아닌 브로드사이드 대비한 스퀀트 기하에서의 NESZ 및 관측폭 차이를 제시하였다.

4.1 실험환경

실험 변수를 표 1과 같이 설정하였다. NESZ와 관측폭은 위성이 합성 개구면 길이를 이동하는 동안의 누적 평균값을 사용하였다. 안테나는 파라볼릭(Parabolic)안테나 식을 적용하였다[13].

표 1. 실험 사용 변수
Table 1. Experimental data

Altitude	[km]	500
Incidence angle	[deg]	25 : 10 : 65
Beam width	[deg]	0.5
Squint angle	[deg]	10 : 5 : 25
Azimuth resolution	[m]	1
PRF	[Hz]	6500
Carrier frequency	[GHz]	9
Bandwidth	[MHz]	650
Pulse duty	[%]	20
Peak transmitted power	[W]	2000
Total system loss	[dB]	5.5
Noise figure	[dB]	4
Noise temperature	[K]	290

4.2 실험결과 및 분석

4.2.1 스윙트 기하에서의 입사각 변화 분석

3장에서 언급하였듯이 스윙트 기하에서 NESZ 및 관측폭에 주요하게 영향을 미치는 요소는 스윙트 입사각이라는 것을 알 수 있다. 따라서 본 절에서는 본 논문의 분석이 유효함을 보이고자 스윙트 기하에서의 입사각 변화를 우선적으로 분석하였다.

그림 5와 표 2의 결과를 살펴보면, 특정 입사각에서 스윙트 각이 증가 할수록 입사각의 변화량이 커진다. 그 이유는 특정 고도에서 스윙트 각이 클수록 경사거리가 길어지기 때문이다. 또한, 입사각이 작을수록 스윙트에 의한 입사각 변화량이 작아진다. 그 이유는 입사각이 작을수록 경사거리가 짧기 때문에 스윙트에 의한 영향에 더 민감하기 때문이다.

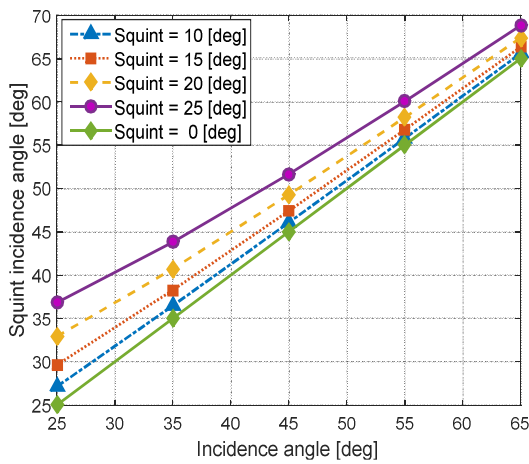


그림 5. 입사각에 따른 스윙트 입사각 결과
Fig. 5. The results of the squint incidence angle with respect to the incidence angle

표 2. 입사각에 따른 스윙트 입사각 결과(단위: [deg])
Table 2. The results of squint incidence angle with respect to the incidence angle(unit: [deg])

Squint angle \ Incidence angle	25°	35°	45°	55°	65°
0°	25.00	35.00	45.00	55.00	65.00
10°	27.13	36.48	46.07	55.80	65.59
15°	29.64	38.28	47.41	56.80	66.34
20°	32.91	40.73	49.27	58.21	67.41
25°	36.85	43.81	51.66	60.06	68.83

또한, 본 절에서는 스윙트가 0° 일 때, 즉, 브로드사이드 일 때의 결과를 추가 제시하였다. 결과를 보면 알 수 있듯이 시뮬레이션 결과가 입사각 입력 값과 동일하다는 것을 확인 할 수 있다.

상기 경향성 및 결과를 통해 본 논문에서 유도한 기하 변화가 유효하다는 것을 판단 할 수 있었다.

4.2.2 스윙트 기하에서의 NESZ 변화 분석

그림 6과 표 3의 결과를 보면, NESZ 변화는 입사각 변화와 같은 추세로 변화하는 것을 관찰 할 수 있다. 추가적으로 스윙트 기하에서는 브로드사이드 대비 NESZ가 저하되는 것을 관찰 할 수 있다. 즉, NESZ가 증가하는 것을 관찰 할 수 있다. 그 이유는 설계 조건이 동일 할 때, 식 (10)의 분모 항에 있는 입사각과 경사거리가 증가하기 때문이다.

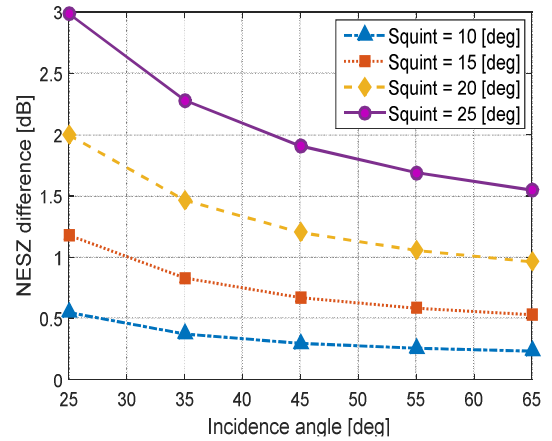


그림 6. 특정 스윙트 각 기준 입사각에 따른 NESZ 변화량
Fig. 6. The results of the NESZ change amount with respect to the incidence angle given squint angle

표 3. 특정 스윙트 각 기준 입사각에 따른 NESZ 변화량 (단위: [dB])
Table 3. The results of NESZ change amount with respect to the incidence angle given squint angle(unit: [dB])

Squint angle \ Incidence angle	25°	35°	45°	55°	65°
10°	0.55	0.37	0.30	0.26	0.23
15°	1.18	0.83	0.67	0.58	0.53
20°	2.00	1.46	1.20	1.05	0.96
25°	2.99	2.28	1.91	1.69	1.55

4.2.3 스퀀트 기하에서의 관측폭 변화 분석

그림 7과 표 4의 결과를 보면, 스퀀트 기하에서는 브로드사이드 대비하여 관측폭이 커진다. 즉, 관측할 수 있는 지상범위가 커지는 장점이 있다. 그 이유는 스퀀트 운용 시 경사거리가 커지게 되어 동일 빔폭을 갖는 안테나가 지표면을 관측 할 수 있는 영역이 넓어지기 때문이다. NESZ와는 다르게 큰 입사각에서 스퀀트에 의한 변화량이 더 커지는 것을 확인 할 수 있다. 그 이유는 큰 입사각에서는 작은 입사각 변화가 있더라도, 빔폭에 의해 관측할 수 있는 지상 범위가 큰 입사각에서 보다 크게 변화되기 때문이다.

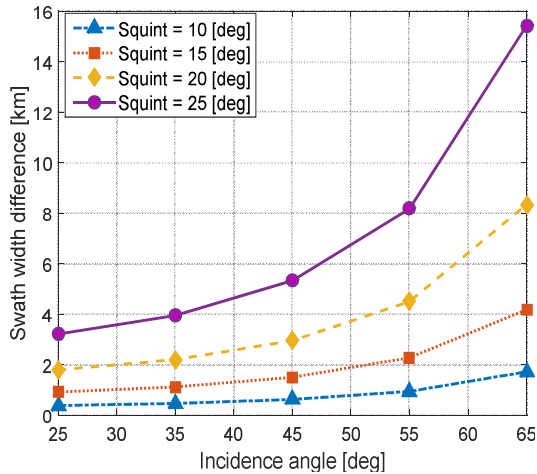


그림 7. 특정 스퀀트 각 기준 입사각에 따른 관측폭 변화량

Fig. 7. The results of the swath width change amount with respect to the incidence angle given squint angle

표 4. 특정 스퀀트 각 기준 입사각에 따른 관측폭 변화량 (단위: [km])

Table 4. The results of swath width change amount with respect to incidence angle given squint angle(unit: [km])

Incidence angle \ Squint angle	25°	35°	45°	55°	65°
10°	0.38	0.47	0.62	0.94	1.72
15°	0.92	1.12	1.50	2.28	4.18
20°	1.79	2.20	2.95	4.50	8.34
25°	3.22	3.95	5.33	8.17	15.43

4.2.4 빔폭 조정을 통한 NESZ 및 관측폭 분석 및 설계 방향성 제시

앞 절의 결과에서 알 수 있듯이, 스퀀트 운용에서는 NESZ는 저하되고 관측폭은 커지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 임무에서 요구되는 관측폭을 만족시키면서 여분의 관측폭을 감소시키면 NESZ의 저하를 완화시킬 수 있다. 이를 달성하기 위한 방법으로는 빔폭을 좁게 설계하면서 안테나 이득을 증가시키는 방법이 있다. 따라서 본 실험에서는 모든 설계 조건이 동일하다고 가정하고, 빔폭을 좁게 선정하여 관측폭의 크기를 줄이며, NESZ의 저하를 감소시키는 설계 결과를 제시하였다.

NESZ는 입사각이 작을수록, 관측폭은 입사각이 클수록 값의 변화가 크므로 중간 지점에 해당하는 입사각 45°에서 본 분석을 수행하였다. 또한, 해당 분석결과를 효과적으로 관찰하기 위해서, 즉, 관측폭 여유가 비교적 큰 스퀀트 각 20° 및 25°에서 실험을 수행하였다. 이 조건을 기준으로 본 실험에 적용된 빔폭과 안테나 이득은 표 5와 같다. 여기서 빔폭과 안테나 이득은 [13]을 참조하여 설정하였다. 스퀀트 25°에서는 기존 빔폭 값 대비하여 [13]에서 나열된 바와 같이 최대로 줄일 수 있는 빔폭을 적용하였으며, 스퀀트 20°에서는 위성이 합성 개구면 길이 중심에 있을 때, 브로드사이드 대비 최대로 줄일 수 있는 관측폭 크기 범위로부터 빔폭을 도출 하였다.

표 5. NESZ 및 관측폭 비교분석을 위한 실험 변수

Table 5. The experimental variable for the comparative analysis of NESZ and swath width

Classification	Pre. value	Squint 20°	Squint 25°
Beam width	0.5°	0.4313°	0.4242°
Antenna gain	51.93 dB	53.22 dB	53.36 dB

표 6. NESZ 및 관측폭의 빔폭 설계 적용 전/후 변화량 차이 결과

Table 6. The results of difference change amount for NESZ and swath before/after applying design change of beamwidth

Classification		Before	After
NESZ degradation.	Squint 20°	1.20 dB	-1.37 dB
	Squint 25°	1.91 dB	-0.95 dB
Swath width Increase	Squint 20°	2.95 km	1.39 km
	Squint 25°	5.33 km	3.24 km

표 6은 본 실험의 결과이다. 결과에서 확인 할 수 있듯이, 본 논문에서는 스윙트 운용으로 확보되는 관측폭 크기를 감소시키고, 즉, 안테나 빔폭을 좁게 하고 안테나 이득을 증가시킴으로써 NESZ 저하량을 감소시킬 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다. 따라서 스윙트에서는 브로드사이드보다 넓은 관측폭을 확보 할 수 있으므로, 스윙트에서 NESZ 및 관측폭 관련한 SAR 센서 설계 시에는 빔폭을 좁게 설계하는 방향으로 설계가 필요할 것으로 판단된다.

다만, 본 논문의 분석결과는 안테나 이득, 빔폭, 그리고 기하에 의한 영향성만을 고려하였다. 즉, PRF, 대역폭 등을 동일하게 설정하였으므로, 향후 모든 변수들을 설계에 반영함으로써 보다 사실적인 분석이 수행되어야만 정확한 방향성 제시가 될 수 있을 것이라 판단된다.

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 위성 SAR의 영상품질 중 중요한 요소인 NESZ와 관측폭에 대하여 이해하고, 스윙트 기하에서의 기하 변화를 유도하였다. 유도된 기하를 바탕으로 브로드사이드 대비 스윙트 기하에서의 NESZ 및 관측폭 변화를 분석하였다. 분석결과, 스윙트 기하에서 NESZ 및 관측폭은 증가하는 것을 관찰 할 수 있었다. 즉, NESZ 성능은 저하되고, 관측폭 성능은 향상되는 것을 알 수 있었다. 또한, NESZ는 입사각이 작을수록 저하량이 커지는 반면에 관측폭은 입사각이 클수록 크기 변화량이 커지는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 관찰을 바탕으로 본 논문에서는 빔폭 조절을 통해 NESZ 저하를 완화시키는 방안을 고려하였으며, 분석 결과를 추가 제시였다. 분석 결과를 통해, 스윙트에서의 SAR 센서 설계 시에는 요구되는 관측폭을 만족하는 범위에서 빔폭을 좁게, 그리고 안테나 이득을 증가시킴으로써 설계해야 한다는 것을 알 수 있었다. 즉, 스윙트에서는 확보되는 관측폭 여분을 감소시키고 NESZ 저하를 줄이는 방향으로 설계를 수행해야 한다는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 논문의 분석은 스윙트 운용 시의 영상품질 분석 및 설계 시에 활용 할 수 있을 것이라고 판단된다.

하지만 본 논문에 사용된 변수는 실제 위성 운용 설계 값이 아니다. 그리고 실제 위성 운용을 위한 SAR 센서 설계에서는 성능이 최적화되도록 입사각 별로 대역폭, PRF 등이 상이하게 설계된다. 또한 실제 환경에서는 입사각에 따라 표적의 유효반사면적이 상이하다. 하지만 본문에서는 입사각 별로 기하 및 안테나 이득 이외의 변수가 모두 동일하다고 가정하였다. 즉, 기하 및 안테나 빔폭에 따른 영향성을 주요하게 고려하였다. 또한, SAR 센서 성능 관점에서만 고려하였기 때문에 향후 보다 실제적인 변수, 설계 수치, SAR 센서 이외의 구성품 등을 고려하여 보다 실제적인 분석과 방향성 제시가 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] G. W. Davidson and I. G. Cumming, "Signal Properties of Spaceborne Squint-Mode SAR", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 35, No. 3, pp. 611-617, May 1997.
- [2] G. W. Davidson, I. G. Cumming, and M. R. Ito, "A Chirp Scaling Approach for Processing Squint Mode SAR Data", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 32, No. 1, pp. 121-133, Jan. 1996,
- [3] U. Naftaly, "Squint Angle Limitations for Space-Borne Spot SAR Imaging", *7th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, Vol. 3, pp. 185-188, Jun. 2008.
- [4] B. Sun, H. Xu, Y. Wang, and W. Yang, "Orthogonal Resolution Analysis for Squint SAR Image", in *Proceedings of 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, pp. 401-404, Jun. 2016.
- [5] L. Shu, W. Ying, and Z. Yigong, "Exact Analysis of the Azimuth Resolution Characters of Squint SAR", *Journal of Systems Engineering and Electronics*, Vol. 15, No. 4, pp. 502-506, Dec. 2004.
- [6] Z. Li, X. Zhao, and Z. Ding, "Analysis of Diving

- Squint SAR Resolution", in Proceedings of 2011 IEEE CIE International Conference on Radar, pp. 875-878, Oct. 2011.
- [7] J. R. Wertz, D. F. Everett, and J. J. Puschell, "Space Mission Engineering: The NEW SMAD", Space Technology Library, pp. 173, 976, Jul. 2011.
- [8] S. S. Yoon, M. J. Bae, and K. D. Cho, "An Analysis of NESZ Degradation given Squint in Space-Borne SAR", in Proceedings of 2017 Korea Institute of Military Science and Technology(Domestic Conference), Jun. 2017.
- [9] M. Younis, S. Huber, A. Patyuchenko, F. Bordoni, and G. Krieger, "Performance Comparison of Reflector- and Planar-Antenna Based Digital Beam-Forming SAR", International Journal of Antennas and Propagation, Vol. 2009, Article ID 614931, 13 pages, May 2009.
- [10] Y. K. Chan and V. C. Koo, "An introduction to synthetic aperture radar (SAR)", Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 2, pp. 27-60, 2008.
- [11] J. C. Curlander and R. N. McDonough, "Synthetic Aperture Radar Systems and Signal Processing", John Wiley & Sons Inc., pp. 15, 1991.
- [12] A. Moreira, P. Prats-Iraola, M. Younis, G. Krieger, I. Hajnsek, and K. P. Papathanassiou, "A Tutorial on Synthetic Aperture Radar", IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, Vol. 1, No. 1, pp. 6-43, Mar. 2013.
- [13] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, "Antenna Theory and Design", John Wiley & Sons Inc., pp. 320-321, 1988.

저자소개

윤수성 (Soo-Sung Yoon)



2013년 2월 : 연세대학교

전기전자공학부(공학사)

2015년 2월 : 한국과학기술원

전기 및 전자공학과(공학석사)

2015년 3월 ~ 현재 :

국방과학연구소 연구원

관심분야 : SAR 신호처리, SAR

영상품질 분석, 영상신호처리