

# STK를 이용한 UAV SAR 목표물 탐지기법

황성욱\*, 김아름\*, 송정환\*, 이우경\*\*

## UAV SAR Target Detection Modeling Using STK

Sung-uk Hwang\*, Ah-Leum Kim\*, Jung-Hwan Song\*, Woo-Kyung Lee\*\*

### 요 약

현대 정보전에서 테러 및 전쟁, 그리고 재난사고 등에 대한 자료 수집, 목표물 추적 등의 임무수행에 탁월한 능력을 보이고 있는 무인 시스템의 중요성이 점점 증대되는 추세이다. 본 논문에서는 Satellite Tool Kit(STK)를 사용하여 UAV의 임무수행에 대한 가상의 궤도 시나리오를 작성하고 레이더 센서를 활용하여 목표물을 식별하는 과정을 제시한다. 무인 시스템의 전체적인 동작은 STK를 이용하여 가상의 UAV 항로를 설정한 후, UAV에 탑재된 SAR센서를 이용하여 지형, 지물 및 목표물에 대한 스캔을 수행한다. 또한 스캔 센서를 합성개구레이더(Synthetic Aperture Radar : SAR)로 가상 구현하여 무인기탑재 레이더에서 수신한 반사 신호로부터 목표물에 대한 모델을 확립하기 위해서 레이더 원시데이터를 추출한다. 가상 시나리오에서 추출된 목표물의 점표적을 생성하기 위해 SAR 신호 처리를 수행하는 과정을 보이고 마지막으로 링크 버짓 설계 및 분석한다.

**Key Words** : HASAR; EIRP; STK; UAV; Link Budget; BER. P

### ABSTRACT

In the modern UAV systems, the role of radar payload has been increasing with its unique performance of day-and-night operation and see-through capability over hidden obstacles. Contrary to the satellite reconnaissance, UAV is expected to provide high resolution target detection and recognition capability while frequent flight missions would deliver enhanced SAR image and local information over the target area. STK(Satellite Tool Kit) is a professional space-analysis software widely used in all phases of a space system's life cycle. The simulation of STK is efficient and accurate relatively. In this paper, the author attempt to model the UAV operation and measure the expected SAR image quality. STK(Satellite Tool Kit) is employed to analyze UAV operation and produce SAR raw data. A SAR simulator is developed to produce high resolution SAR image for various ground targets.

## I. 서 론

문명 중심의 산업사회에서 지식, 정보사회로 전환됨에 따라 미래에도 새로운 전쟁양상 발생이 예견되고 있다. 따라서 정밀유도무기와 무인항공기(UAV)에 대한 개발이 중요한 과제로 부각 되고 있다. UAV 적용 범위에 대해서도 군사 목적뿐만 아니라 정보수집, 이동 물체 추적 등 UAV의 용도 또한 그 범위가 넓어지고 있는 추세다.

본 논문에서는 UAV 레이더의 가장 주요한 임무

로서 탐지(Detection) 기능을 설정하고 합성개구레이더(SAR)를 통해 지상이동표적을 식별하며 획득된 자료를 지상으로 전송하는 시나리오를 모의 실험한다.

STK(Satellite Tool Kit)는 AGI에서 만들어진 우주 시스템 분석 소프트웨어로써 우주 영역에서 위성의 궤도와 UAV, 미사일, 레이더 등 광범위한 범위에서 종합적으로 설계하고 분석하는 것을 도와주는 툴이다 [1].

또한 육지, 해양, 항공, 우주의 복잡한 시스템의

\* 한국항공대학교 항공전자공학 위성전자통신시스템 연구실(caseh83@hanmail.net)

\*\* 한국항공대학교 항공전자정보통신

논문번호 : 논0902-03, 접수일자 : 2009년 11월 13일, 최종제논문통보일자 : 2009년 12월 28일

위치와 장시간 동안의 움직임 분석해준다. 특히 우주 분야에서는 우주 기반의 플랫폼 모델을 바탕으로 정보, 감시, 정찰 센서 커버리지 계산과 위성 통신 제약 분석까지 수행한다.

레이다 영상기법은 전자파를 이용하여 대상 표적 지역의 고해상도 지형 지도를 형성하여 표적을 탐지하고 식별하는 방법이다[2]. 이 기법을 통해 광학영상이나 적외선(IR) 영상과는 달리 비, 구름 등의 기상 조건이나 주야에 제한받지 않고 영상을 얻을 수 있는 넓은 지역의 지상표적을 동시에 감시하거나 정찰하여 표적의 변화 상황을 알 수 있다[3].

SAR(Synthetic Aperture Radar)는 지표면의 형태 및 특성을 관측하는 영상 레이더로써, Doppler 효과를 이용함으로써 원래 안테나 자체의 해상도보다 높은 해상도를 얻을 수 있다[4].

SAR(Synthetic Aperture Radar)는 수신된 광대역의 레이더 신호를 처리하여 영상 및 위상정보를 추출하는 원격탐사 센서로써 레이더의 조향 범위에 따라 스트리프맵(Stripmap), 스포트라이트(Spotlight), 스캔(Scan) 3가지 모드로 동작한다. 본 연구의 UAV에 탑재되어 운용되는 SAR는 구름이나 비와 같은 기상 조건이나 태양 고도의 제약을 받지 않는 전천후 고해상도 영상 레이더로써 UAV 이외에 인공위성 및 우주비행체에도 탑재되어 운용되고 있다.

본 논문에서는 STK를 이용하여 UAV의 항로를 설정한 뒤 센서 타입의 세부 설정에 따른 3가지 모드로 가상 시나리오를 설계한다. 이를 통해 얻은 AER(Azimuth, Elevation, Range) 값들을 SAR 시뮬레이터의 RDA 알고리즘에 대입한다. 또한 단일 목표물에 STK로부터 추출 가능한 정보를 이용하여 STK의 레이더 모듈의 제한된 성능을 확장시키는 방안을 제시하고 목표물에 대한 고해상도 SAR 영상원시데이터를 구현하고 목표물 식별 영상을 생성하는 과정을 보인다. 마지막으로 링크 버짓 결과를 분석해 본다.

## II. 본 론

### 1. STK UAV SAR 센서 설정

본 연구에서는 SAR 구현을 위해 UAV에 센서를 탑재하였다. 일반적으로 SAR 센서는 레이더의 조향 범위에 따라 스트리프맵(Stripmap), 스포트라이트(Spotlight), 스캔(Scan) 3가지 모드로 동작한다.

스캔 모드는 주로 위성에서 사용되며, 저해상도용으로 넓은 지역을 커버한다. 본 논문에서는 UAV 시스템만을 고려하며 따라서 스트리프맵, 스포트라이트 모드만을 사용한다. 센서 동작은 지형 상에서 산의 중턱에 UAV가 도달할 때까지로 설정한다. 모드별로 다른 2가지의 센서의 세부 설정을 각각의 특성에 맞게 설정을 한다.

#### 1.1 STK 지형정보(Terrain) 설정

STK에서 지형을 설계하기 위해서는 지형정보에 대한 포맷을 알고 있어야 한다. STK에서 사용하는 지형정보 포맷은 Imagery visualization과 Terrain visualization 2가지로 분류된다. 전자의 경우는 일반적으로 사용되는 2D, 3D용 포맷이며, 후자는 STK 고유의 3D용 포맷이다.

그림 1은 STK 가상 시나리오 설계 과정 중 지형 정보 설정을 나타낸 것이다.

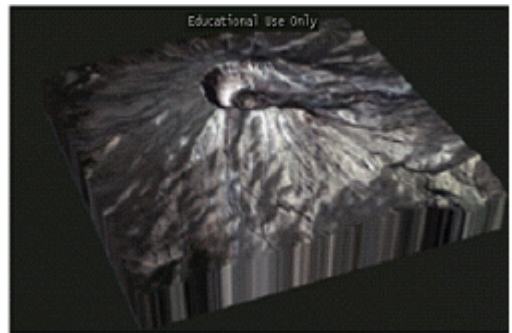


그림 1. 지형정보

본 논문에서는 원하는 지역에 대한 지형을 설정하기 위해서 전자의 방법인 Imagery visualization을 이용한다. 따라서 지형을 만들기 위해 사용 할 포맷을 STK에서 사용되는 형식인 JP2나 PDTTH로 만들어 준다.

#### 1.2 STK SAR Stripmap 모드

스트리프맵(Stripmap) 모드는 빔을 슬라이딩시키는 방법으로 가장 일반적으로 쓰이는 방법 중 하나이다 [5]. 본 논문에서는 센서 타입으로 Complex Conic을 사용한다. 센서 Angle의 경우 제한된 폭의 빔을 생성하기 위해 0 ~ 10 deg로 설정한다. 표 1은 센서 Pointing 타입을 나타낸 것이다.

표 1. UAV Sensor Pointing Type

Pointing Type	Fixed
Orientation method	YPR angles
Yaw	0 deg
Pitch	4 deg
Roll	45 deg
Sequence	YPR

그림 2는 STK UAV Stripmap SAR 모드에 대한 것이다. 아래의 그림과 같이 Pointing 타입을 Fixed로 설정하며, SAR Side view를 생성하기 위해 Roll 값을 45° 로 한다. Stripmap SAR 모드를 구현하기 위해 센서 동작구간에서 일정한 방향 경사각 45° 로 방사되도록 설정한다.

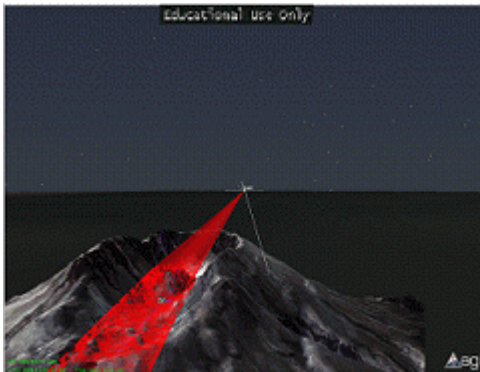


그림 2. UAV SAR Stripmap 모드

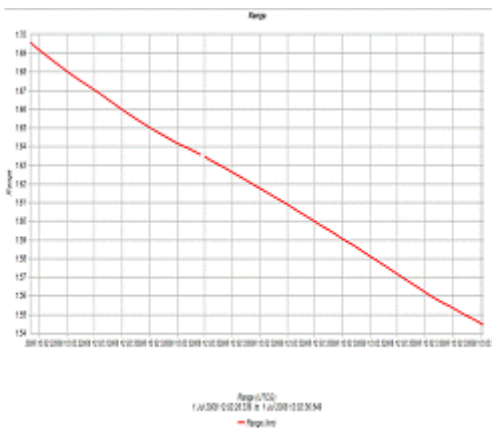


그림 3. STK에서 추출한 거리

위의 그림 3은 Stripmap SAR 모드로 STK를 구현 시 목표물과 센서간의 거리 데이터를 나타내는 것이다. 센서 설정할 때 Pitch Angle을 4° 로 주었기 때문에 그림 3과 같은 결과가 나온 것이며, 이 때 Pitch Angle은 Squint Angle과 같은 것이다.

STK로부터 추출한 단일 목표물의 거리 정보를 바탕으로 Matlab을 이용하여 SAR Raw 데이터를 생성한다. 이러한 방법은 STK의 레이더 모듈의 제한된 성능을 확장시킨다. 이 때 생성된 Raw 데이터는 그림 4와 같다.

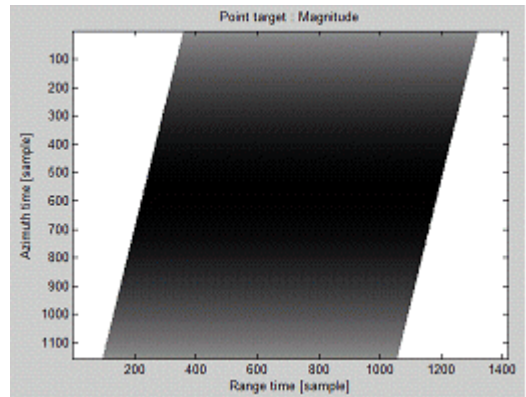


그림 4. Stripmap 모드 Raw 데이터

#### 1.4 STK SAR Spotlight 모드

스팟라이트(Spotlight) 모드는 고해상도를 목적으로 원하는 지역에 빔을 계속하여 조향하여 고해상도의 영상을 획득한다[5].

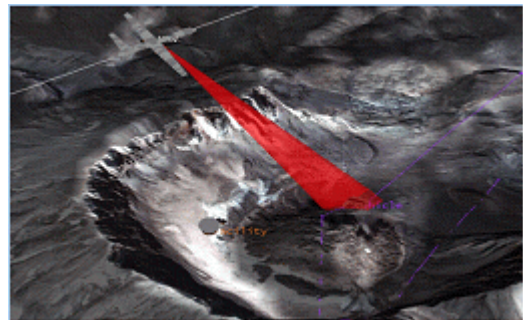


그림 5. UAV SAR Spotlight 모드

본 논문에서는 센서 타입을 Complex Conic으로 사용한다. 이 센서 타입은 전형적으로 위성 또는 비행체에 자주 쓰이는 타입이며, Elevation 및 Azimuth

Angles로 구성된다.

Spotlight SAR를 구현하기 위해 한 지점을 향해 방사되도록 설정한다. 또한 센서로부터 방사된 빔이 한 지점을 가리키므로 센서의 자취가 남지 않는다. 아래의 그림 5는 STK에서의 Spotlight 모드로 구현한 시나리오이다.

아래의 그림 6은 Spotlight SAR 모드로 STK를 구현 시 목표물과 센서간의 거리 데이터를 나타내는 것이다. 이러한 거리 데이터를 SAR Raw 데이터 생성할 때 이용할 수 있다.

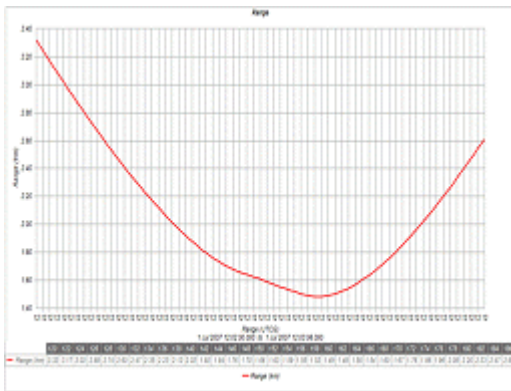


그림 6. STK에서 추출한 거리

그림 7은 앞서 언급한 방법과 유사하게 STK로부터 추출한 거리 데이터를 바탕으로 Matlab을 이용하여 Raw 데이터를 생성한 것이다.

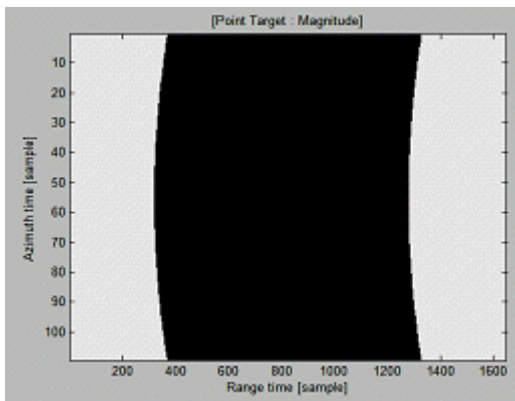


그림 7. Spotlight 모드 Raw 데이터

## 2 STK를 이용한 UAV 시나리오 설정

단일 목표물에 대한 SAR 시뮬레이션 수행을 위

해 먼저, STK를 이용하여 UAV 가상 시나리오를 작성한다. 임무에 대한 UAV의 항로 및 센서를 설정하고, UAV에 탑재된 SAR 센서를 이용하여 표적에 대한 스캔을 수행하도록 설정한다.

### 2.1 가상 시나리오 설계

UAV가 특정지역을 정찰하기 위해 SAR 센서를 탑재한다. 만약 UAV가 특정한 지역을 넘어서면 통신 위성과 통신하여 정보를 지속적으로 지상기지로 전송한다. UAV가 활주로 위를 비행할 경우 탑재된 SAR 센서를 이용하여 주변을 스캔한다. 일정한 신호를 전송해주기 위해서 대한민국 상공에 위치한 임의의 정지위성부터 얻은 정보들을 지상기국으로 전송한다.

단일 목표물에 대한 SAR 점포적 시뮬레이션을 수행하기 위해 STK에서 설정한 UAV의 센서와 목표물간의 데이터를 추출하고, 통신링크를 분석한다.

### 2.2 UAV 항로 설정

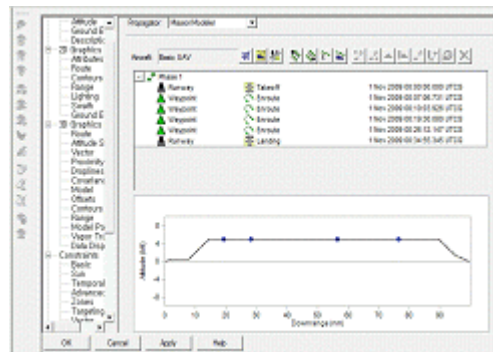


그림 8. STK UAV 항로 설정

STK는 항로를 설정함에 있어 두 가지 방법을 제공한다. 첫 번째는 위도와 경도 및 고도를 수치로 입력해 주는 방법이고, 두 번째는 2D 및 3D 그래픽 창에 나타난 지도 위에 포인트를 찍어주는 방법이다. UAV 항로를 설정하는 방법을 선택함에 있어서, 각각의 장단점 또는 임무 시간의 상황에 따라 그 방법을 선택하면 된다. 따라서 본 시나리오에서는 보다 정밀한 임무 수행을 위해 직접 위치를 입력해 주는 방법을 선택하여 UAV 항로를 설정한다.

그림 8은 UAV의 비행 동작에 대한 설정과 이동



거리에 따른 고도를 나타낸다. 본 시나리오에서는 수행될 UAV의 비행경로에 대한 이동 거리 및 고도는 아래의 그림 9와 같이 나타난다.

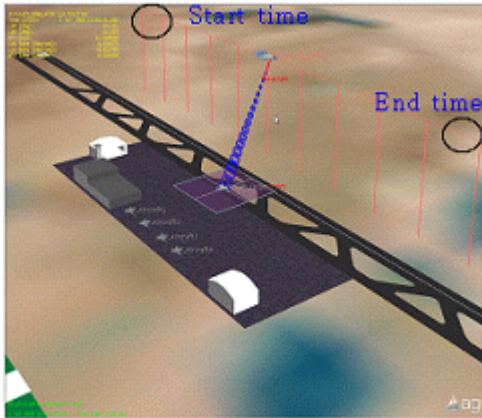


그림 9. UAV 항로 설정

### 2.3 STK로부터 추출한 데이터

SAR target 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 STK 시뮬레이션 결과로부터 데이터를 추출해야 한다. 아래 그림 10은 STK에서 UAV의 비행경로와 센서를 설정하여 단일 목표물을 탐지함으로써 얻을 수 있는 Slant range, Elevation angle, Altitude 데이터를 나타낸 것이다.

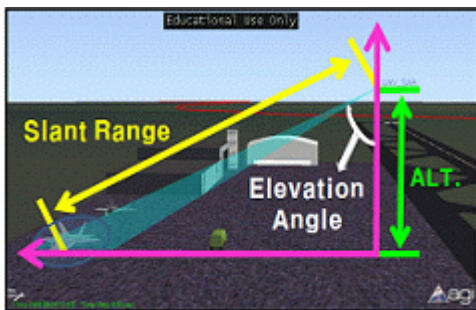


그림 10. STK를 통해 추출할 수 있는 데이터

그림 11은 이것에 대한 값들을 시간의 변화에 따라 그래프로 표현한 것이다. Azimuth의 최소값과 최대값은 각각 40°와 130°이며, Range의 경우는 3.60Km와 4.50Km이다. 또한 본 시뮬레이션에서는 Elevation의 경우 Azimuth의 변동에 따른 SAR 신호처리 영상품질을 살펴보기 위해 그 값을 거의 일정하게 18° ~ 20°로 설정한다.

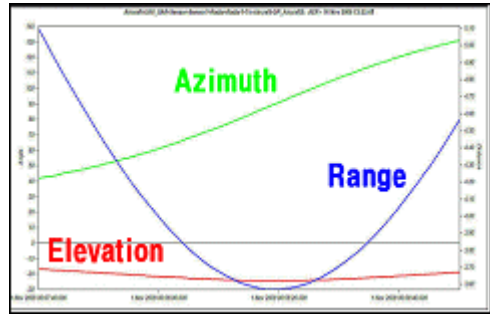


그림 11. AER Graph

### 2.4 레이더 영상(Radar Image)

앞서 제시한 SAR Raw 데이터 영상 정보를 눈으로 구분하기 위해서는 별도의 영상 처리 기술이 필요하다. 본 논문에서는 SAR 신호처리를 위해 보편적으로 사용되는 RDA(Range Doppler Algorithm)을 이용해 영상 처리를 수행한다.

#### 2.4.1 STK를 이용한 SAR 점표적 시뮬레이션

단일 목표물에 대한 SAR의 점표적 시뮬레이션을 수행하기 위해서 STK에서 설정한 UAV의 센서와 목표물간의 데이터를 추출한다. 실제 UAV SAR 임무 설계 및 분석은 매우 복잡한 변수들을 반영해야 한다. 목표물의 실제 RCS 값, 지상 Clutter의 영향, UAV의 실제 제원, 실측된 지상 정보(Terrain 환경) 등 실측 data를 반영한 시나리오 설계 구현이 필요하다.

본 논문에서는 레이더 모듈이 빠져있는 교육용 버전의 STK를 사용했기 때문에 맷랩과의 연동을 통해 추가로 필요한 파라미터 입력을 한다. 아래의 표 2는 SAR 신호처리에 있어서 사용된 Aircraft SAR Parameter들의 설정 값이다.

표 2. SAR simulation parameters

Parameter name	Value
Radar Center Frequency	9.4
Azimuth FM Rate	131
Synthetic Aperture Radar	0.85
Doppler Bandwidth	443
Azimuth Sampling Rate	600

Squint Angle		0
Transmitted pulse duration	$T_r$	10 s
Radar center frequency	$F_r$	120MHz
Range FM rate	$K_r$	10MHz/ s

STK의 UAV 시나리오를 통해 추출한 파라미터와 기타 SAR 파라미터를 Matlab으로 연동시켜 점표적 시물레이션을 수행한다. 시물레이션에 사용된 SAR 신호처리 알고리즘은 보편적으로 사용되는 RDA를 이용하여 STK에서 추출한 경사거리 값을 적용한다. 이 거리 값이 반영된 신호를 Range 방향으로 압축하고, 이를 다시 Range Doppler Domain으로 전환한 후, RCMC(Range Cell Migration Correction)를 수행한다.

이 때의 RCMC는 Sinc Interpolation 방법을 사용한다. 그리고 방위 방향으로 압축, 다시 방위 방향으로 IFFT를 시킨 후, 점표적을 형성한다[6]. 그림 12는 RDA 수행 결과 나타나는 점표적이다.

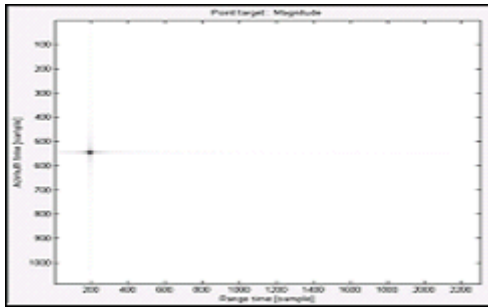


그림 12. SAR 점표적

### 2.5 통신 링크 분석

링크 버짓이란 무선통신 시스템의 링크 설계에서 송수신이 완벽하게 이루어지도록 규격을 설정하거나 조정하는 작업 또는 그 계산의 결과를 말한다. UAV와 지상국과의 통신을 하기 위한 가장 기본적인 계산방법이다. 다시 말해서 링크 버짓의 결과에 따라서 통신에 관계된 모든 것들이 결정된다. 따라서 Noise를 최소로 하고 효율적인 통신을 위해 링크 버짓을 설정해야 한다.

링크 버짓 해석을 위해 사용되는 파라미터를 요약하면 아래 표 3과 같다.

UAV와 지상국간의 통신 시스템을 설계하고자 할

때는 우선 무선링크 설계를 통하여 변조방식, 전송 데이터율에 따른 송신전력, 복조방식, 에러정정부호화 방식, 안테나 이득, 송수신 주파수 등의 제반사항을 결정하고 이러한 이론적인 바탕위에서 실제 회로를 구현한다[7].

표 3. Link Budget parameters

Parameter Name	Expression
Bandwidth	$B_{IF} = (1 + \rho) R_b / 2$
Signal Flux density	$\Psi = EIRP / (4 \pi R^2)$
Signal to Noise Ratio	$C/N = P_R - P_N$ (dB)
Received Antenna Gain	$G_R = 4 \pi A_e / \lambda^2$
$P_R$	$EIRP + G_R - \text{Losses}$
$P_N$	$10 \log(KTB_N)$

#### 2.5.1 STK 통신 링크 시나리오

STK 통신 모듈을 이용하여 Bit Error Rate(BER), Eb/No, 업 링크와 다운링크를 위한 전송전력, 자료 전송률을 계산할 수 있다[8].

UAV와 지상관제소간의 통신링크 분석을 위해 STK의 Access 기능을 이용하여 위성의 송신 안테나와 지상기지국의 수신 안테나간의 통신링크를 설정한다. 그림 13은 UAV와 지상 기지국간의 통신 시스템을 구현한 것을 나타낸다.

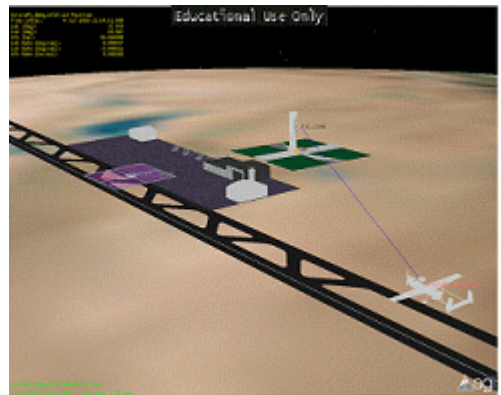


그림 13. STK UAV와 지상관제소 통신

일반적으로 통신 링크 분석에서는 EIRP(Effective Isotropically Radiated Power)를 도출함에 있어서, 단순히 송신 전력과 송신 이득으로 EIRP를 구하게 된다. 하지만 실제 통신에서는 송신안테나와 수신안테

나가 항상 최대 이득으로 통신하는 것이 아니기 때문에 그에 따른 이득 감소가 발생한다. 따라서 STK에서는 통신 링크 분석을 위해 실제 임무 환경에 유사하도록 송신 및 수신안테나의 포인팅 에러를 고려한 EIRP 도출 방법을 제공한다.

그림 14는 Bit Error Rate(BER)와 Eb/No간의 관계를 그래프로 나타낸 것이다.

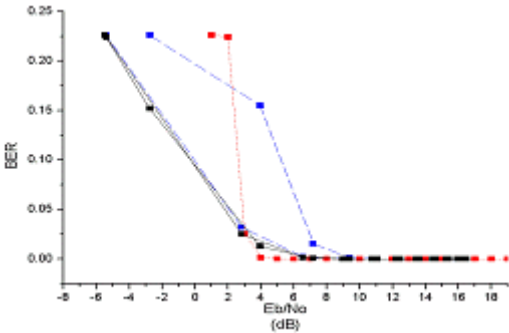


그림 14. BER vs Eb/No

본 연구에서의 전송 제원은 BPSK (Binary Phase Shiftin Keying) 변조 방식을 사용하였다.

그림 15는 Eb/No와 위성의 Elevation의 따른 변화를 나타낸 것이다.

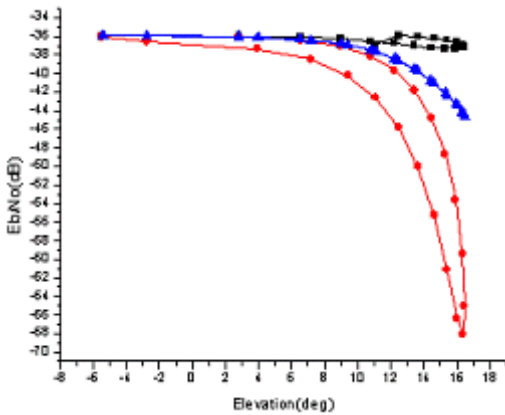


그림 15. Elevation에 따른 Eb/No 변화

이 때 EIRP 값은 30dBW이며, 안테나 효율은 55%로 설정한다. 센서 타입은 Simple Conic으로서 빔폭은 3°이다.

아래의 표 4는 STK를 이용한 통신링크 분석을 보여준다. 표 11로부터 UAV와 지상관제소간의 EIRP, C/No, 및 Eb/No를 도출하고, C/No와 Eb/No의

차를 구하여 데이터 전송률을 계산할 수 있다. 데이터 전송률은 72.041 Mbps이다.

표 4. 링크 분석 예시

설정	송신전력 [dBW]	안테나		
	30	- Diameter : 1m - Efficiency : 55% - Back lobe : -1 dB		
시간 [UTC]	EIRP [dB]	C/No [dBMHz]	Eb/No[dB]	Data rate
22:00:00	30.00	114.77	42.73	72.041
22:01:00	30.00	116.42	44.38	72.041
22:02:00	30.00	117.56	45.52	72.041
22:03:00	30.00	117.57	45.53	72.041
22:04:00	30.00	116.43	44.39	72.041
22:04:13	30.00	116.07	44.03	72.041

### III. 결 론

본 논문에서는 STK를 이용하여 UAV SAR 목표물 탐지기법에 대해 레이더 조향 범위에 따라 개괄적으로 고찰하였다. 다양한 변수들을 예측하는 Data 생성에 편리한 STK 가상 시나리오를 통해 추출 가능한 정보를 가지고 SAR 원시 데이터 생성 및 신호 처리를 하였다. 이를 통해 목표물의 점표적을 생성하였다.

향후 STK 시나리오 구현 과정에서 정확한 RCS 값이 입력될 경우 고해상도 SAR 영상의 데이터 베이스를 구축하는데 활용될 수 있을 것이다.

UAV 임무 수행 중 추출 가능한 고해상도 SAR 영상을 예측하는 알고리즘은 향후 UAV SAR 임무 설계에 활용 가치가 높을 것으로 예상 된다. 또한 링크 버짓을 계산하기 위해 STK 가상 시나리오 임무 목적에 따라 전송방식을 설정한 후 UAV 제원 및 지구국 제원을 설정하였으며, 마지막으로 링크 버짓을 수행했다. 이를 통해 자료 전송량을 추정해보았으며, 보다 객관적이고 실제에 가까운 분석을 하였다. EIRP 및 지상국에서 C/No 및 Eb/No를 계산하여 전체적인 통신 성능 여부를 만족하는지 조사하였다. 분석 결과 지상국에서 C/No 및 Eb/No가 적정함을 확인하였다.

국내에서도 SAR를 탑재하는 다목적실용위성 5호

(KOMPSAT-5) 개발 사업이 진행되어 운용을 앞두고 있으며 이후 UAV SAR에 대한 관심도 높아질 것을 예상된다. 차세대 위성기술로 거론되고 있는 영상 레이다 탑재체에 대해 깊이 있고 지속적인 연구가 향후 진행되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] Junhua ZHANG, Gen YANG, Qing XU, Yongjun ZHAO, "Application in Radar Simulation of STK/Connect Module", in Institute of Zhengzhou Information Science & Technology, IEEE 2009
- [2] 박영길, "레이다 신호처리 기술", 한국전자과학회 pp. 100-110, 1994
- [3] Donald M. Stuart, "Sensor Design for Unmanned Aerial Vehicles", in Aerospace Conference, 1997. IEEE Feb. 1997, Vol. 3, pp. 285-295
- [4] 이우경, 『위성전자실험』, 한국항공대학교 출판부, 2005
- [5] 오태봉, "위성 플랫폼 자세요동에 따른 SAR 영상품질 분석", 한국항공대학교, 2009
- [6] Ian G. Cumming Frank H. Wong, "Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data", Artech House, 2005
- [7] 김중표, 구철희, "통신위성 원격측정명령계 RF 링크버킷 개념설계 연구", 한국항공우주연구원 통신위성연구그룹
- [8] Anuradha Chandrasekaran, Dr. Charles Swenson, "Communication Link Analysis For ION-Mission", Dept. of Electrical and Computer Engineering, 2003

### 저자

황 성 욱(Sung-Uk Hwang)



2010년 2월: 한국대학교  
전자공학 졸업예정

<관심분야> 전자공학, SAR,  
UAV, 레이다 신호처리

김 아 름(Ah-Leum Kim)



2008년 2월: 한국항공대학교  
전자공학과 졸업

2008년 3월~현재: 한국항공  
대학교 전자공학과  
대학원 석사과정

<관심분야> Synthetic  
Aperture Radar, Image  
Processing, Satellite  
Communication and Application

송 정 환(Jung-Hwan Song)



2007년 2월 : 한국항공대학교  
항공전자공학과 학사 졸업

2010년 2월 : 한국항공대학교  
항공전자공학과 석사  
졸업 예정

<관심분야> SAR 신호처리,  
영상처리, 위성전자 탑재체

이 우 경(Woo-Kyung Lee)

정회원



1999년 9월 : KAIST 인공위성  
센터연구교수

2003년 1월 : 삼성종합기술원  
책임연구원

2004년 9월~현재 : 한국항공대  
항공전자 및 정보통신  
공학부 조교수

<관심분야> 인공위성 시스템, 위성전자탑재체