

## 한반도 지형에 적합한 SAR 위성의 운영모드 설계

신재민\*, 임정흠\*\*, 김응현\*\*\*, 이상곤\*\*\*\*, 이상률\*\*\*\*\*

### A Design of SAR Satellite Operational Mode for Topography of Korean Peninsula

Shin Jae-Min\*, Im Jeong-Heum\*\*, Kim Eung-Hyun\*\*\*, Lee Sang-Kon\*\*\*\*, Lee Sang-Ryool\*\*\*\*\*

#### Abstract

In this paper, the SAR operational mode for achieving mission is designed. Each mode, which is the strip mode, scan mode, and fine mode, is basically considered. Based on the characteristics, which includes incidence angle, of the topography in Korean Peninsula, look angle for SAR satellite is determined. The limited region of operating the mission, which is considered to be able to receive and transmit the radar data, was defined to use determined operational mode. In the future, as considering full requirements and conditions for the SAR satellite, requirements and parameters will be discussed and studied.

#### 초 록

본 논문에서는 SAR 위성시스템 설계에서 위성의 임무를 적절히 수행할 수 있는 위성의 운영모드 설계를 수행하였다. strip mode, scan mode, fine mode 3가지 모드에 대한 기본적인 고찰이 이루어졌으며 위성의 Look angle 결정을 위해 Incidence angle을 고려한 한반도의 지형적인 고찰도 함께 이루어졌다. 결정된 운영 모드를 이용하기 위해서 위성의 임무 수행지역을 정의하였고 정의된 수행지역은 위성의 레이다 자료의 송수신을 고려하여 결정되었다. 현재 구성된 사항들은 추후 더욱 상세한 요구사항들과 조건들을 고려하면서 연구 될 것이다.

키워드 : 합성개구면레이다(SAR), strip mode, scan mode, fine mode, 입사각(incidence angle)

#### 1. 서 론

SAR 탑재체를 위한 운영모드는 임무와 다양

한 응용분야에 따라 결정이 되며 정확한 탑재체 운영을 위해서는 세부적인 사항까지 철저한 변수 설계가 요구된다. 또한 설계과정에서의 지

\* 다목적위성체계그룹/jmshin@kari.re.kr

\*\*\* 다목적위성체계그룹/ekim@kari.re.kr

\*\*\*\*\* 다목적위성체계그룹/leesr@kari.re.kr

\*\* 다목적위성체계그룹/jhim@kari.re.kr

\*\*\*\* 다목적위성체계그룹/skon@kari.re.kr

속적인 Trade-off 과정을 통해서 정확한 임무 변수가 설계되어야 한다.

일반적인 SAR 위성의 운영 모드는 크게 3가지로 구분된다. 첫째는 Strip or Standard mode로 광학위성의 영상정보 획득처럼 임무운영 궤도를 선회하면서 설계된 기본 해상도로 레이더 영상정보를 얻는다. 이 모드는 SAR 위성 설계시 기본이 되는 운영 모드로 대부분의 설계변수를 여기에 맞추어 기본적인 설계가 이루어진다. 둘째는 Scan mode로 광학위성과 달리 단일 기본 해상도에서 벗어나 광범위한 지역을 낮은 해상도로서 감시 및 관찰할 수 있는 기능이다. 물론 이 기능은 긴급한 재난 또는 환경변화를 감시하는 기능이므로 위성이 설계된 궤도 이외의 지역을 관찰할 수 있는 기능도 가진다. 셋째는 Fine or Spotlight mode로 기본해상도 보다 훨씬 높은 고해상도로 특정 관심지역 또는 기본 임무궤도 이외의 지역을 관찰할 수 있는 기능을 가진다.

다양한 운영 모드를 가질 수 있는 SAR 위성은 각 모드별 설계의 조건도 임무궤도, 재방문주기, 접근 가능지역, 해상력 등의 다양한 변수의 조사와 분석으로 인한 세밀한 설계가 요구된다. 현 시점에서의 운영모드 설계는 기본적인 변수의 설정과 선택으로 이루어지며 향후 지속적인 시스템 및 각 기능변수들 간의 적합성을 고려하여 점차 정확하고 세밀한 설계가 이루어질 것이다.

## 2. SAR 위성 임무

차세대 위성인 SAR 위성의 임무분야를 위성 개발 목표에 맞추어 대략적으로 설정하였다. 설정된 SAR 위성의 임무는 5가지 정도이다.

- 한반도 중심의 레이더 영상정보의 수집
  - 1:10,000 이나 1:5,000 정도의 대축척 지도의 제작은 어려우나 1:25,000 정도의 축척을 가지는 국토지도의 제작은 가능하다.
- 레이더 및 광학 영상정보의 융합을 통한 국

- 토관리
  - SAR 위성의 영상정보는 독립적으로도 사용 가능하나 개발되어 운영중인 KOMPSAT-1 또는 -2가 수집한 영상정보와의 융합을 통한 국토관리의 목적을 고려하여야 한다.

- 재해 및 자연환경변화 전천후 감시 및 관찰
  - 주변상황 변화에 관계없이 원하는 시간과 장소에서 전천후로 한반도의 상황을 예의 주시할 수 있어야 한다.

- 위성 및 관련기술 개발을 위한 과학적 연구

## 3. Incidence Angle

SAR 위성의 운영을 위해서는 빔 운용을 위한 입사각의 설정이 중요하다. 빔 입사각의 설정은 획득하는 정보의 정확성 및 적합성과 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. SAR 위성의 운용을 위한 지역이 산악지대가 많으면 특정 입사각 이하로는 레이더 영상정보를 획득할 수가 없으며, 사실상 얻는다 할지라도 지상거리 해상력이 매우 떨어지게 된다. 반면에 해양지역이 많으면 지상거리해상도를 늘리기 위해서 큰 입사각을 가지도록 설계를 하여야 한다.

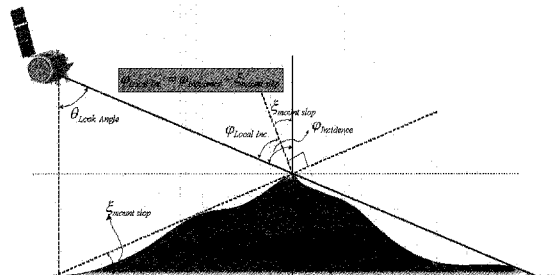


그림 1. 지역입사각(Local Incidence Angle)과 지형과의 관계

차세대 위성의 임무지역은 한반도를 포함한 주변 국가들이며 주요 관심지역은 평야, 해양 및

산악지대를 포함하는 모든 영역이 된다. 특히 한반도 지역은 산악지대가 많이 분포하기 때문에 SAR 위성의 입사각 결정이 매우 중요하다.

위 [그림 1.]은 지형에 따른 입사각의 변화를 보여준다. 보고 된 바에 따르면 한반도 산악지대의 경사각은 15°~45°정도이므로 각 운용 모드별 입사각의 설정시 고려하여야 한다. 일반적인 SAR의 운용 입사각도(Incidence Angle)는 15°~50°정도이므로 실제 지형에 의한 지역입사각(Local Incidence Angle)이 15°~50°정도로 조정되기 위해서는 30°정도의 지향각(Look Angle)을 가져야 한다. 또한 해양지대를 포함하고 있기 때문에 30°이하의 지향각(Look Angle)을 운용할 수 있어야 다양한 지형에 맞는 레이더 위성영상을 획득할 수 있다.

표 1. 한반도 경사향 분포<sup>(2)</sup>

경사향	북	북동	동	남동	기타
면적(km <sup>2</sup> ) (비율,%)	25,103 (11.2)	26,528 (11.9)	30,003 (13.4)	26,979 (12.1)	6,915 (3.1)
경사향	남	남서	서	북서	계
면적(km <sup>2</sup> ) (비율,%)	25,701 (11.5)	26,732 (12.0)	29,308 (13.1)	26,125 (11.7)	223,394 (100.0)

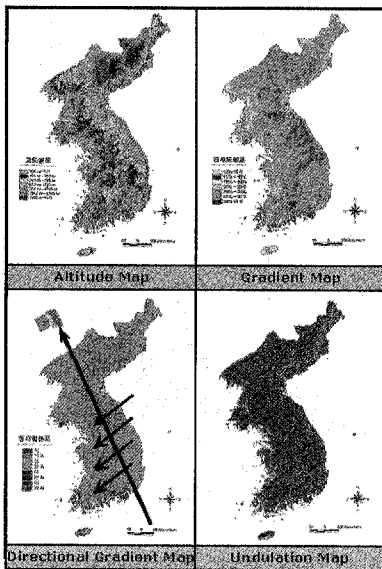


그림 2. 한반도 지형특성<sup>(2)</sup>

[그림 2.]의 한반도 경사향분포도는 각 지점마다 동, 서, 남, 북으로 인접한 격자와의 고도 차이를 계산하여 사면이 어느 방향으로 향하고 있는지를 나타내는 주제도이다. 경사향 분포는 정 북방향을 기준으로 0°에서 360°까지 나타내는데, 이를 45도 간격으로 전체를 8방향으로 나누면 [표 1.]과 같이 나타난다. 북, 북동, 동, 동남, 남, 남서, 서, 북서로 구분하여 산출한 면적과 국토면적 대비 비율을 나타내었다. 여기서 기타는 경사향을 정의할 수 없는 경사도가 0%인 평지이다. 경사향은 8방향이 11~13% 사이로 비교적 균등하게 나타난 것을 알 수 있으나, 한반도 지형상의 형태를 고려할 때 서쪽방향의 지형흐름이 많이 관찰됨을 알 수 있다.

이런 지형의 흐름은 위성의 궤도 결정에도 많은 영향을 줄 수 있다. 특히 SAR 위성과 같이 지상 평면에 대응되는 직접적인 해상도가 아니라 레이더 빔을 방사하는 경사진 slant range 방향으로의 해상력을 감안할 때 위성의 궤도가 한반도를 통과하는 방향이 중요하다.

현재 설정된 위성의 궤도는 상승방향이 남동에서 북서방향으로 진행되고 있기 때문에 위성이 방사하는 빔의 방향이 자연스럽게 한반도의 지형

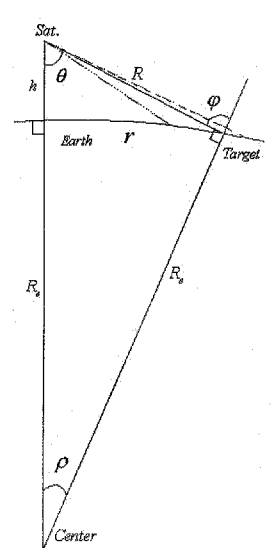


그림 3. SAR의 swath 기하학

의 흐름을 지켜보는 형태로 SAR 위성의 특성이 고려되고 있음을 알 수 있다. 이런 운영체도는 지형의 차폐가 일어나지 않아서 획득하는 정보의 손실을 줄여주는 이점을 가진다.

[그림 3.]은 운영모드별 Swath 기하학의 관계를 정의하기 위한 그림이다. 여기서  $\theta$ 는 조사각(Look Angle),  $\phi$ 는 입사각(Incidence Angle),  $L_a$ 는 SAR 안테나의 폭,  $W_a$ 는 SAR 안테나의 높이이다. 그리고 여기에서는  $\phi_{local}$ 인 지역입사각(Local Incidence Angle)은 고려하지 않는다.

우선 각 모드 중 Strip mode에 대한 관계는 Swath=30km, h=685km,  $\theta_{mid} = 30^\circ$ 의 기본값으로 계산된다.

$$\phi_{mid} = \sin^{-1}\left(\frac{R_e + h}{R_e} \times \sin\theta_{mid}\right) = 33.608^\circ$$

$$\rho_{mid} = \phi_{mid} - \theta_{mid} = 3.608^\circ$$

$$R_{mid} = \sqrt{2R_e(R_e + h)(1 - \cos\rho_{mid}) + h^2}$$

$$= 804.864km$$

$$r_{mid} = \rho_{mid} \cdot R_e = 401.641km$$

$$\rho_{near} = \frac{r_{near}}{R_e} = 3.473^\circ$$

$$R_{near} = 796.678km$$

$$\theta_{near} = \cos^{-1}\left(\frac{R_{near}^2 + 2hR_e + h^2}{2R_{near}(R_e + h)}\right)$$

$$= 29.011^\circ$$

$$\phi_{near} = 3.473^\circ + 29.011^\circ = 32.484^\circ$$

위에 나타난 식은 각 모드별 swath를 계산하기 위해 사용되었으며, 뒤에 언급하는 SAR 탑재체 변수의 설정을 위해서도 고려되었다.

다음은 sawth에 의한 간략한 탑재체 안테나의 이론적인 최소 규격을 위한 규제사항이 된다.

$$W_a \approx \frac{\lambda R_{mid}}{Swath \cdot \cos\phi_{mid}} = 80.646cm$$

$$L_a \approx \frac{\lambda}{\theta_H} = \frac{\lambda R_{mid}}{Swath} = 80.485cm$$

$$A_a = W_a \cdot L_a > \frac{4v_{st}\lambda R_m \tan\phi_{mid}}{c}$$

$$\therefore A_a > 1.718m^2$$

단,  $\theta_H$ 는 Horizontal Spread Angle이고  $v_{st} = 7.5km/sec$ 는 위성의 속도이다.

산출된 값에 따라 안테나의 크기는 2m×1m 정도의 크기를 가지면 이론적으로 가능하므로 KOMPSAT-2의 heritage를 충분히 이용할 수 있으며, 다음에 기술될 해상도의 설정이 가능해진다.

#### 4. 탑재체 운영

레이더 영상정보 획득을 위한 SAR 위성의 모드 운영은 기본적으로 우측방향 관측을 하게 되며, 3가지의 형태로 이루어진다. 각 모드별 영상획득을 위한 접근가능지역(Access Range)은 빔 입사각 20°~50°사이의 640km 정도의 영역 내에서 이루어진다. 또한 모드별 Swath width와 여러 개의 세부 빔으로 구성되어 방위각 방향으로 진행하면서 레이더 영상정보의 획득이 이루어진다. 부가적으로 빔 운영의 방향이 좌측 관측도 가능하게 될 것이며, 이것은 재난관리나 국가안보와 같은 위급한 상황에서 위성의 상승 또는 하강 방향 그리고 우측과 좌측 방향의 관측을 모두 가능하게 함으로써 관측 지역의 접근가능성을 향상시키는 능력을 가지게 된다.

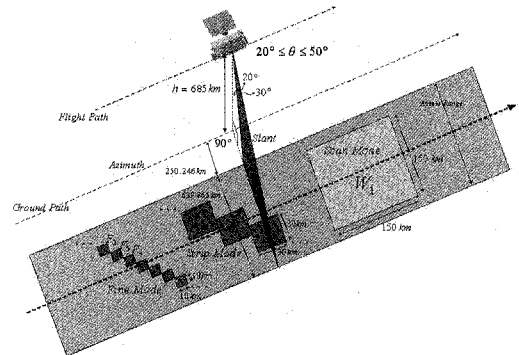


그림 4. SAR 위성의 운영 모드

각 모드별로 Nadir에 근접한 위치부터 S1, S2, S3 등의 위치로 빔 운영이 설정되며, 접근지역 (Access Range) 내에서 관심이 있는 지역에 위치한 빔으로 운영하여 레이더 영상정보를 획득하게 된다. 사실상 위성이 운영되면서 관심지역의 정보를 얻기 위해서는 관심지역과 위성과의 지상거리가 최소 220km에서 최대 860km 사이에 존재할 때 레이더 영상정보의 획득이 가능하게 된다.

### 4.1 Strip Mode

Stripmap 기술을 이용하여 설계된 SAR 기본 해상도인 <math>10m(6.6m:TBD)</math>로 전자지도제작에 이용될 레이더 영상정보를 수집한다. 전자지도에 사용될 레이더 영상정보는 KOMPSAT 위성영상과 함께 융합되어 특정목적에 위한 주제도 등으로 이용이 가능하다. 표준영상모드(Strip mode)는 국토자원관리를 위한 농작물의 분포 및 작황, 삼림의 분포 및 수종 분석, 도시 확장 정보 수집, 기간시설 수립계획, 비행장/항구/주요건물 탐지 분야를 위해 운용된다.

Stripmap 기술은 거리방향(Slant Direction)으로 빔 입사각( $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$ )을 고정시키고 방위각 방향(Azimuth Direction)으로 위성이 진행하면서 타일형태의 영상을 획득하며, 전체적인 운행은 연속적인 띠를 형성하도록 수행한다. [그림 5.]는 Strip mode에서 빔 운영 방법에 대한 내용을 나타내고 있다.

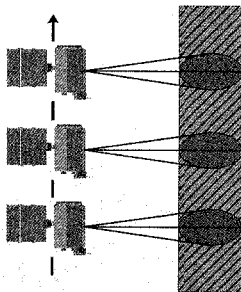


그림 5. Strip mode에서의 빔 운영방법

[그림 6.]는 위성 Strip mode의 운영 예상도를 나타내고 있다. Strip mode의 운영에서 큰 특징

은 위성 운용시 고정된 빔 입사각을 가지고 연속적인 영상정보의 시퀀스를 얻는다는 것이다. 이를 위해서는 레이더 영상정보의 획득을 원하는 관심지역 즉, 임무 운영지역을 통과하기 전 미리 계획된 임무 운영지역에 적합한 빔 입사각을 위한 빔 운용 조정이 선행되어야 한다. 그래서 위성이 관제범위에 접근하면 지상국에서 사전에 계획된 임무가 지시된다.

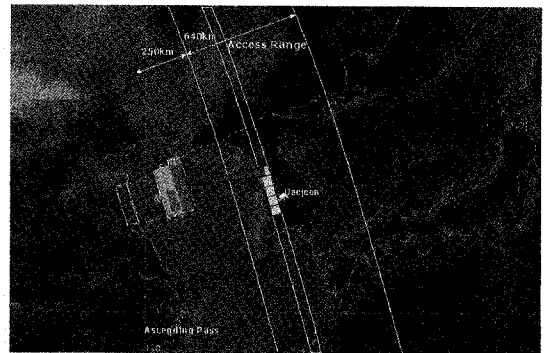


그림 6. SAR 위성 Strip mode의 운영 예상도

### 4.2 Scan Mode

ScanSAR 기술을 이용하여 설계되고 해상도 <math>40m(35m:TBD)</math>로 재난감시 또는 대규모 지역 감시를 위해서 레이더 영상정보를 수집한다. 광역감시 모드로 획득된 레이더 영상정보는 낮은 해상도를 갖고 있으나 광범위한 지역인 약 150km 정도를 일시에 관찰할 수 있기 때문에 자연재해와 같은 대규모 피해를 국가적인 차원에서 빠른 시간에 관리 감독할 수 있는 장점이 있다.

ScanSAR 기술은 위성체가 방위각 방향(Azimuth Direction)으로 진행하면서 거리방향의 영상 관측폭을 증가시켜서 넓은 지역의 레이더 영상정보를 얻기 위해서 빔 입사 각도를 순차적으로 변화시키면서 데이터를 획득한다. [그림 7.]은 Scan mode에서 빔 운영 방법에 대한 내용을 나타내고 있다.

[그림 8.]은 위성 Scan mode의 운영 예상도를 나타내고 있다. Scan mode의 운영에서 큰 특징은 그림에서 보듯이 위성 운용 시 거리방향의 관

측폭을 증가시키기 위해 순차적으로 빔 입사각을 변화시키는데 각 빔은 서로 약 20% overlap 되어 전체영상이 구성되게 된다. overlap은 각 시퀀스끼리 인접부분의 오차를 제거하기 위해서 설정된다. Sacn mode의 특성상 재난에 대한 감시가 우선적이므로 좌측 및 우측 방향에 대한 감시 능력 또한 고려되어야 한다. Tilting 기능을 위해서는 현재 임무시간 120sec에서 모든 시간을 임무수행하기가 힘들기 때문에 사전에 미리 계획된 임무운영 시간과 tilting을 위해 요구되는 시간이 계획되어 목표하는 위치의 레이더 영상정보의 획득이 가능하도록 하여야 한다. 위성이 관제범위에 접근하면 지상국에서 사전에 계획된 임무가 지시된다.

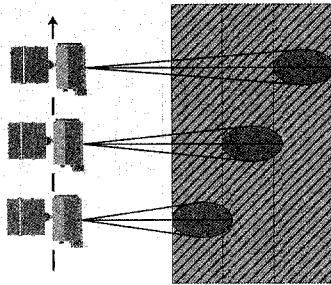


그림 7. Scan mode에서의 빔 운영방법

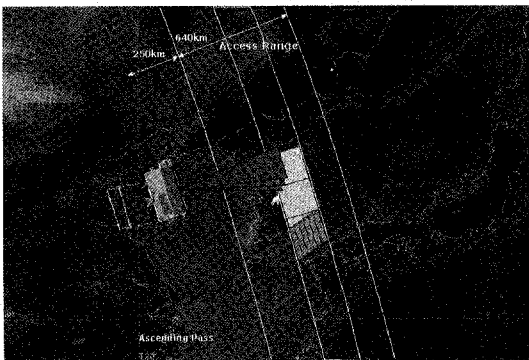


그림 8. SAR 위성 Scan mode의 운영 예상도

### 4.3 Fine Mode

Spotlight 기술을 이용하여 설계되고 해상도

<5m(3m:TBD)으로 국가안보에 관련된 시설물 탐색이나 상대국의 군사적인 시설물 또는 주요 정부기관들의 위치와 동태를 주시할 수 있다. Fine mode로 획득된 레이더 영상정보는 높은 해상도를 갖고 있기 때문에 획득된 영상정보의 지역은 상대적으로 줄어들게 된다. 이런 문제로 인한 고해상도의 국토정보는 오랜 시간동안 정보의 획득이 있어야만 수집할 수 있으므로 사실상 고해상도의 국토지리정보를 획득하기는 힘들다. 그러므로 주요 핵심시설에 대한 관찰이 주요임무가 될 것이다.

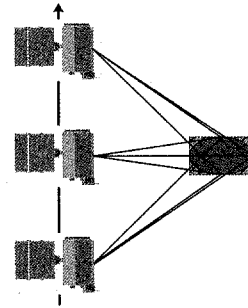


그림 9. Fine mode에서의 빔 운영방법

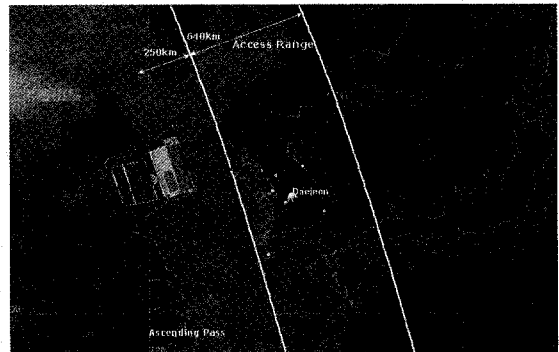


그림 10. SAR 위성 Fine mode의 운영 예상도

Fine 기술은 위성체가 방위각 방향(Azimuth Direction)으로 진행하면서 한 번 지나간 위치의 영상정보를 단일정보로 사용하는 것이 아니라 방위각방향으로 빔의 각도( $\pm 45^\circ$ )를 조정하여 여러

위치에서 동일 지점의 레이더 영상정보를 종합하여 고해상도의 영상정보를 획득하게 된다. [그림 9.]는 Fine mode에서 빔 운영 방법에 대한 내용을 나타내고 있다.

[그림 10.]은 위성 Fine mode의 운영 예상도를 나타내고 있다. Fine mode의 운영에서 큰 특징은 그림에서 보이듯 다른 2가지의 모드와 달리 연속적인 영상정보의 획득이 아니라 목표된 지점에 대한 하나의 Scene을 구성하게 된다. 그러므로 다른 모드의 overlap과 같은 특징은 없으며 접근지역 내의 다양한 위치를 선택하여 단일 영상정보를 획득한다. 이를 위해서 역시 레이더 영상정보의 획득을 원하는 관심지역 즉, 임무 운영지역을 통과하기 전 미리 계획된 임무 운영지역에 적합한 빔 입사각을 위한 빔 운용 조정이 선행되어야 한다. 그래서 위성이 관제범위에 접근하면 지상국에서 사전에 계획된 임무가 지시된다.

## 5. 위성본체 운영

SAR 위성의 임무 주요 임무범위는 한반도를 거점으로 주변국(일본, 중국, 러시아) 일부 지역이다. 한반도의 주요 관심지역은 극동(131°52' 42" E), 극서(124°11' 00" E), 극남(33°06' 33" N), 극북(43°00' 39" N)을 포함하는 약 580km의 반경을 가지는 지역으로 설정되며, 주요확장 관심지역은 주변국을 포함하는 범위 안에서 관제범위의 한계영역이 될 것이다. 관제범위의 한계영역은 KARI 지상국에서 5°의 elevation angle을 가질 때 반경 2400km가 된다.

아래에 나타난 표는 단일 운영모드에 대한 최대 임무수행가능 시간을 나타내고 있다. 지상에서 목표하는 임무지역을 선정하고 거기에 해당하는 해상도 및 지역을 촬영하기 위해서는 모든 시간을 임무수행에 사용할 수는 없다. 각 모드의 종합적인 운영은 탑재체에 소비되는 전력과 세부적인 자세제어 및 운영모드 초기화 시간 등을 고려해 향후 많은 협의가 이루어져야 한다.

표 2. 각 모드별 운영 시간(단일모드 사용기준)

	Payload Operation Duration	Down Link Op. Duration
Strip Mode	120 sec(normal)	300 sec(normal)
Scan Mode	120 sec(normal)	300 sec(normal)
Fine Mode	120 sec(normal) (TBD)	300 sec(normal)

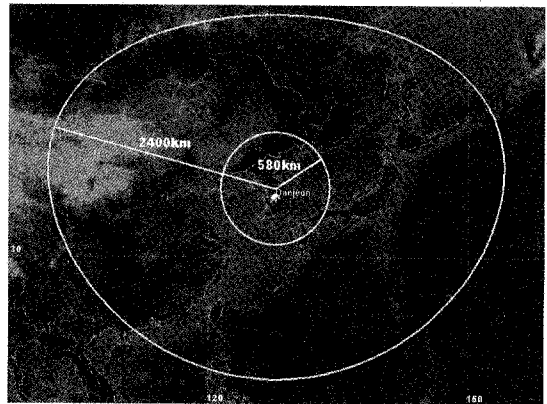


그림 11. 주요 관심지역, 확장 관심지역 및 관제범위

탑재체에 의해 획득된 자료의 전송을 고려한 운용은 기본적으로 Playback 기능을 가지고 임무를 수행하나, 실시간 감시나 관측과 같은 임무 또는 국가안보에 관한 실시간 정보의 분석이 필요한 경우를 대비하여 실시간 자료전송과 유사한 형태(near real-time)로 운영하여야 한다.

탑재체 주요임무 운영시간은 주요 관심지역을 지나는 120sec 동안 수행되며, 최대 관제범위 통과시간인 10min 중 임무 운영을 제외한 4min(max 5min - 위성의 관제범위 안으로의 진입 시는 지상국과의 교신이 가능하여야하므로 10min 중 5min이 지상전송 시간이 된다.)이 된다. 그러나 위성의 궤적이 한반도를 비껴지나는 경우에 영상획득과 지상국과의 송신이 관제범위 통과시간인 10min(max 12min)으로 이루어지지 않을 경우는 해외 및 국내 보조 지상국을 이용할 수 있도록 한다.

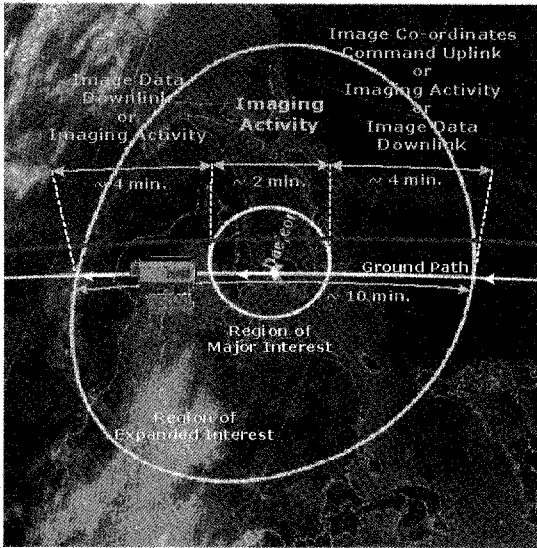


그림 12. SAR 위성의 임무운영 개념도

## 참 고 문 헌

1. 한국항공우주연구원, "차세대 위성시스템 설계 기술 연구(II)," E03210, 공공기술연구회, 2003. 12., pp. 9~116.
2. 한국항공우주연구원, "차세대 위성시스템 설계 기술 연구(I)," E02210, 공공기술연구회, 2002. 12., pp. 11~122.
3. 사공호상, 박성미, 김성표, "인공위성 영상자료를 이용한 국토자원 분석방법에 관한 연구," 국토연 2000-29.
4. TerraSAR-X Team, "TerraSAR-X Mission & System Requirements Specification," Astrium GmbH.

## 6. 결 론

SAR 위성의 임무를 수행하기 위해 일반적으로 요구되는 3가지 SAR 위성운용 모드에 대한 개괄적인 설계를 진행해 보았다. SAR 위성은 일반적인 광학탐재체를 장착한 인공위성과 영상 획득 방법에 있어서 근본적인 차이가 존재하기 때문에 임무운용을 위한 방향에 대한 논의가 있어야 한다. 현재 이 기술문서에 기록된 내용은 SAR 위성의 운용을 위해 기본적으로 요구되는 strip mode, scan mode, fine mode 에 관한 원론적인 고찰을 하고 개략적인 내용을 기술하였다. 이에 맞추어 위성의 자료를 위한 송수신 계획을 위해서 위성운용을 위한 최대유효반경을 정의하고 그 최대유효거리를 기준으로 SAR 위성에 대한 운용지침도 고려하였다. 차세대 위성으로 주목받고 있는 SAR 위성의 개발을 위해 기본적인 시스템과 임무운용을 위한 기초적 자료는 확보하여야 향후 개발시 일어나는 문제에 대한 해결책을 준비할 수 있을 것이다. 또한 이런 설계는 향후 지속적인 연구와 여러 서브시스템간의 토론을 통한 설계가 필요하다.