

## 레이더 측량기법 적용을 위한 다목적실용위성 5호 궤도 분석

이훈열<sup>†</sup> · 장소영

강원대학교 지구물리학과

### Analysis of KOMPSAT-5 Orbit for Radargrammetry

Hoonyol Lee<sup>†</sup> and Soyoung Jang

Department of Geophysics, Kangwon National University

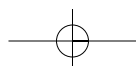
**Abstract :** KOMPSAT-5 will be launched in 2010 carrying a SAR (Synthetic Aperture Radar) system to obtain high resolution images of the earth surface regardless of weather or solar condition. In this paper, the orbits of KOMPSAT-5 and the imaging modes of SAR were analyzed for radargrammetry, and the best image pairs were suggested. We set the pass number from the nearest orbit to a given ground point and selected image pairs for radargrammetry, with height sensitivity of parallax higher than 0.5 to achieve enough height resolution and with the value lower than 0.8 to avoid errors from geometric distortion. On the equator, for example, where the distance between two adjacent passes is fixed to 95 km, we solved the orbit geometry and found that the image pairs with the pass numbers of 3-2 and 5-3 are suitable for radargrammetry. As the examples with arbitrary latitude, we selected Daejeon and Sejong Antarctic stations and calculated the orbital elements by using STK software. Three image pairs (5-4, 7-5 and 8-5) were found suitable for radargrammetry at Daejeon while 10 pairs (8-6, 9-7, 10-7, 11-8, 12-8, 13-9, 14-9, 15-9, 15-10 and 15-11) at Sejong Antarctic station.

**Key Words :** KOMPSAT-5, SAR, radargrammetry, parallax, height sensitivity, height resolution.

**요약 :** 2010년 발사 예정인 다목적실용위성 5호 (KOMPSAT-5, KOrea Multi-Purpose SATellite-5)는 기상상태와 태양고도에 제약을 받지 않고 영상 획득이 가능한 SAR(Synthetic Aperture Radar) 시스템이 탑재된다. 본 연구에서는 SAR를 이용한 레이더 측량기법 (radargrammetry)을 적용하기 위하여 KOMPSAT-5의 예상 궤도와 영상 모드를 분석하여 최적의 영상 조합을 제시하였다. 임의의 지상점에서 가장 가까운 위치에 있는 궤도로부터 패스번호를 부여하였고, 충분한 고도해상도를 얻기 위해 시차(parallax)에 따른 고도민감도는 0.5 이상을 선택하였으며, 레이더 영상의 기하왜곡을 고려하여 고도민감도가 0.8 이하가 되는 영상 조합을 최적 조건으로 제시하였다. 예를 들어, 인접한 패스간의 거리가 약 95 km인 적도에서는 기하학적 모델을 이용하여 패스번호 3-2와 5-3의 두 쌍이 최적의 영상조합으로 제시되었다. 또한 임의로 선택한 대전과 남극 세종기지 지점에서는 STK 소프트웨어를 통해 궤도를 계산하였다. 대전에서는 5-4, 7-5, 8-5의 세 영상 조합을, 남극 세종기지에서는 8-6, 9-7, 10-7, 11-8, 12-8, 13-9, 14-9, 15-9, 15-10, 15-11의 열 쌍의 영상 조합이 레이더 측량기법에 최적임을 제시하였다.

접수일(2008년 8월 6일), 수정일(1차 : 2008년 8월 12일, 2차 : 8월 17일), 게재확정일(2008년 8월 21일).

<sup>†</sup> 교신저자: 이훈열(hoonyol@kangwon.ac.kr)



## 1. 서론

레이더 측량기법(radargrammetry)은 서로 다른 입사각을 가지는 두 SAR 영상의 시차(parallax)를 이용하여 지형 고도를 알 수 있는 방법으로 수치지형도(DEM, Digital Elevation Model) 제작에 널리 활용되어 왔다. SAR (Synthetic Aperture Radar) 영상은 태양 고도나 기상 조건에 상관없이 고해상도의 영상을 얻을 수 있기 때문에 레이더 측량기법에 매우 유용하다.

그러나 이 기법은 심한 지형왜곡을 수반하므로 산악 지형이 많은 우리나라와 같은 경우 사진 측량기법(photogrammetry)에 비해 다소 부적합할 수 있으며, SAR 간섭기법(interferometry)을 이용한 DEM보다 해상도가 취약하다는 단점이 있다. 하지만 광학영상은 대기상태로 인하여 영상 획득률이 저조하고, 반복궤도를 이용한 SAR 간섭기법은 토지피복에 매우 민감하여 한 반도와 같은 온대지방에서는 실용적이지 못하다. 서로 다른 두 위치에서 동시에 SAR 영상을 얻는 동일궤도 SAR 간섭기법은 SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)이나 항공기에서 실현된 바 있으며, 향후 TerraSAR-X와 궤도를 공유할 TanDEM-X 위성 등이 실용화되기 전까지는 레이더 측량기법이 DEM 제작에 유용할 것으로 사료된다.

현재 인공위성 SAR 시스템은 ERS-2, ENVISAT, TerraSAR-X, Radarsat-1/2, ALOS 등에 탑재되어 고해상도의 영상을 획득하고 있다. 우리나라에서도 2010년 발사를 목표로 인공위성 SAR 시스템인 KOMPSAT-5 (Korea Multi-Purpose SATellite-5)를 개발 중에 있다(KARI, 2007). KOMPSAT-5는 영상의 입사각을 조절할 수 있으며 인접 궤도간의 길이가 촬영 가능한 영상의 범위보다 좁아서 레이더 측량기법에 적합하다. 또한 KOMPSAT-5는 레이더 측량기법이 가능한 1 m급 SAR 영상을 제공한다는 점에서 주목할 만하다.

이 논문에서는 KOMPSAT-5 위성의 궤도와 SAR 영상 모드 및 한반도의 지형 특성을 고려하여 레이더 측량기법에 적합한 영상 쌍을 제시하였다. KOMPSAT-5의 예상 궤도를 도시하고, 각 지상점에서 SAR 영상의 입사각을 계산하며, 두 영상의 시차에 따른 고도민감도 및 고도해상도를 계산하였다. 먼저 적도에서는 궤도의

기하학적 관계를 이용하였고, 임의의 위도를 가지는 두 지점으로 선정된 대전과 남극 세종기지에서는 STK 소프트웨어를 사용하여 궤도를 계산하여 레이더 측량기법에 최적인 영상 쌍을 제시하였다.

## 2. KOMPSAT-5 궤도와 영상모드

KOMPSAT-5는 SAR 시스템을 탑재하여 2010년 5월 발사를 목표로 하고 있는 국내 개발의 지구관측 인공위성이다(KARI, 2007). KOMPSAT-5의 SAR 시스템은 기존의 KOMPSAT-1, KOMPSAT-2, 그리고 현재 개발 중인 KOMPSAT-3의 광학 센서와는 달리 마이크로파를 이용하여 기상상태 및 태양고도에 제약이 없이 다양한 모드의 영상을 제공하게 된다. KOMPSAT-5의 SAR 시스템은 X-밴드의 파장 대역을 사용하여 공간해상도 1 m의 고해상도 영상을 제공한다.

한국항공우주연구소의 자료(KARI, 2007)에 의하면, KOMPSAT-5는 적도면에 대하여  $97.6^\circ$ 의 기울기(inclination)을 가지는 극궤도 위성이고, 위성의 한쪽면이 항상 태양을 바라보는 여명-황혼(dawn-dusk) 궤도이다. 위성이 남에서 북쪽을 향하는 상승패스(ascending pass)에서 적도면과 교차하는 지점인 승교점(ascending node)에서의 평균 지방시는 오전 6시이다. 위성의 재방문주기는 28일이며 고도는 550 km이다. 적도에서 연속해서 지나가는 두 궤도간의 거리는 2665 km이며, 공간적으로 인접한 두 패스간의 거리는 95 km이나, 고위도일수록 좁아져 극지방에서는 서로 교차되는 형태의 궤도가 형성된다. KOMPSAT-5는 본래 2009년 6월에 발사될 예정이었으며 그에 맞는 평균 궤도의 제원을 Table 1에서와 같이 나타내었다. 그러나 최근 발사 예정일이 2010년 5월로 늦춰졌기 때문에 위성의 제원이 달라질 수 있다.

KOMPSAT-5의 SAR 영상은 spot 모드, stripmap 모드, scan 모드 등 다양한 방법으로 획득된다(Fig. 1). Spot 모드는 5 km 폭으로 1 m의 공간해상도를 가지는 영상을 궤도 당 최소 22장 촬영하며, 영상은 3초마다 획득할 수 있다. Stripmap 모드는 폭 30 km, 공간해상도 3 m의 영상을 획득할 수 있고, scanSAR 모드는 100 km의 폭, 20 m 해상도의 영상을 획득한다. Stripmap

Table 1. Orbit elements of KOMPSAT-5 (KARI, 2007)

Epoch: 2009 JUN 01 00:00:00 UTC*	Mean Orbit (J2000)	Osculating Orbit (J2000)
Semi-Major Axis (km)	6928.11434	6937.46791
Eccentricity	0.001068966	0.001201637
Inclination (deg)	97.597531	97.595674
R.A. of Ascending Node (deg)	339.734883	339.735375
Argument of Perigee (deg)	90.0	67.308762
Mean Anomaly (deg)	270.0	292.740966

\* subject to change due to alterations in mission schedule.

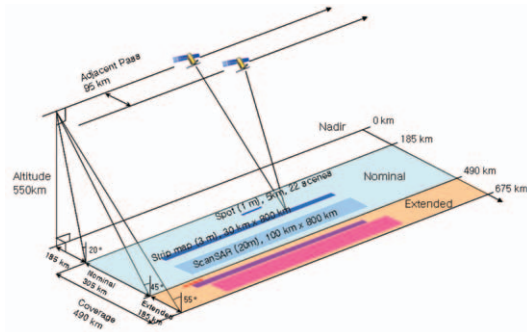


Fig. 1. KOMPSAT-5 SAR imaging modes (modified from KARI, 2007).

모드와 scanSAR 모드는 2분 동안 약 800 km 길이의 영상을 획득할 수 있다. 또한 KOMPSAT-5는 안테나 빔의 지향각(look angle)을 조정할 수 있는데, 정상모드(nominal mode)의 지상에서의 입사각(incidence angle)은 20~45°이며 확장모드(extended mode)는 45~55°로서, 총 20~55°의 입사각을 가진다. 정상모드일 때 영상 획득이 가능한 지점은 위성 궤도의 직하점(nadir)에서부터 185~490 km로서, 305 km의 영상영역(image coverage)을 가진다. 확장모드일 때는 직하점에서부터 490~675 km의 촬영할 수 있으며, 이 때 영상영역은 185 km이다.

레이더 측량기법이 가능하기 위해서는 지상의 한 지

점에 대하여 여러 각도에서 SAR 영상이 촬영될 수 있어야 한다. 이를 위해서는 지상의 한 지점에 대하여 서로 다른 입사각으로 촬영할 수 있는 영상의 개수를  $N$ 이라고 하면, 이는 SAR의 영상영역  $C$ 와 인접 궤도간의 거리  $A$ 가 주어졌을 때 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$N = C/A > 2 \quad (1)$$

Table 2는 현존하는 여러 인공위성 SAR 시스템에 대하여  $N$  값을 분석한 것이다. KOMPSAT-5는 정상모드에서 3.2, 확장모드까지 활용할 경우 5.2의  $N$  값을 가지며, 이는 현존 위성에서 최고값을 보인다. ERS-1/2와 TerraSAR-X는 2 이하의  $N$  값을 가지기 때문에 레이더 측량기법을 전세계적으로 적용하기가 불가능하다. COSMO-SkyMed 또한 인접궤도 간격이 170 km로 KOMPSAT-5에 비하여 넓어서 낮은  $N$  값을 가진다. RADARSAT-1은 인공위성 SAR에서는 안테나의 지향각을 조절할 수 있어서 넓은 영상영역을 가지며  $N$  값 또한 4.3으로 매우 높으나, 10 m 이상의 비교적 낮은 해상도를 가진다. 최대 3 m 해상도를 가지는 RADARSAT-2에서는 보다 좋은 조건을 갖추고 있다고 할 수 있다. 따라서 KOMPSAT-5는 레이더 측량기법이 매우 용이한 1 m 급 해상도의 SAR 위성으로서 특이성을 가진다고 할 수 있다.

Table 2. Number of passes for a ground point at equator

Satellite	Repeat Cycle / Revolutions	Image Coverage (C)	Adjacent Pass Distance (at equator, A)	Number of passes ( $N > 2$ for SSR)
ERS-1/2	35 days / 500	100 km	80 km	1.25
RADARSAT-1	24 days / 343	500 km	116 km	4.3
TerraSAR-X	11 days / 167	Strip, Scan: 295km Spot: 480 km	240 km	Strip, Scan: 1.2 Spot: 2
COSMO-SkyMed	16 days / 237	Similar to KOMPSAT-5 (?)	170 km	1.8- 2.9
KOMPSAT-5	28 days / 421	305 - 490 km	95 km	3.2-5.2

### 3. 적도에서의 레이더 측량기법

먼저 궤도의 인접 패스간의 거리  $X_g$ 가 95 km인 적도에서의 레이더 측량기법을 위한 기하학적 궤도를 계산해 보자. Fig. 2에서는 적도상의 지상점  $x$ 가 있을 때 여러 궤도를 표시한 것으로서, 여기서는 위성이 북에서 남으로 진행되는 하강패스(descending pass)만을 생각한다. 먼저 지상점에서 가장 가까운 궤도를 패스번호  $n=0$ 으로 정의하고 인접한 패스번호는 순차적으로 정한다. 이 때,  $x$ 의 값은 [-47.5 km, 47.5 km]의 지상 범위를 가지게 된다.  $n$  번째 패스에서 지상점을 영상화 하였을 때의 입사각  $\theta_i$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\theta_i = \delta + \theta_l \tag{2}$$

$$\delta = (nX_g - x)/R \tag{3}$$

$$\theta_l = \sin^{-1}(R \sin \delta / R_s) \tag{4}$$

$$R_s = \sqrt{R^2 + (R + H)^2 - 2R(R + H)\cos \delta} \tag{5}$$

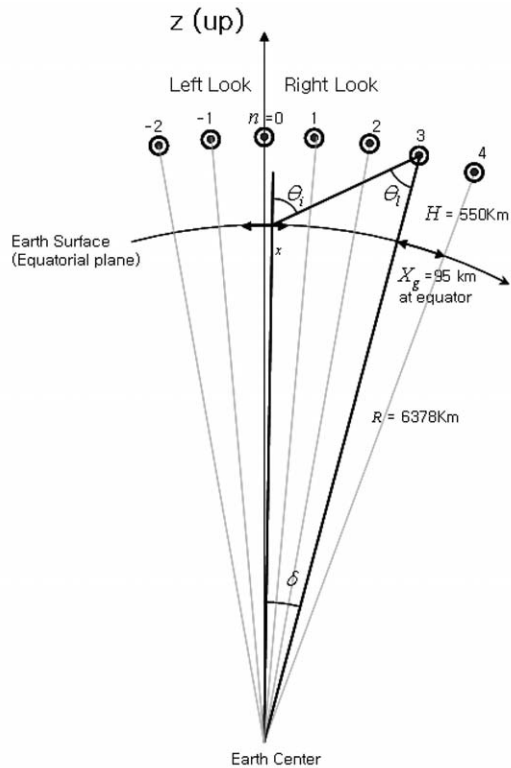


Fig. 2. Geometry of a satellite, a target, and the earth.

여기서,  $R$ 은 지구반경,  $H$ 는 위성 고도,  $\theta_l$ 은 안테나의 지향각,  $R_s$ 는 위성에서 지상점까지의 거리이다.

Fig. 3은 위 식으로 계산된 입사각을  $x$ 의 값이 [-47.5 km, 47.5 km]일 때 도시한 것으로서,  $n=2$ 의 일부, 3, 4, 그리고 5의 일부는 입사각이 20~45°인 정상모드에 속하며,  $n=5$ 의 일부, 6, 그리고 7의 일부는 입사각이 45~55°인 확장모드에 속하게 된다. 따라서 정상모드만 고려했을 때,  $n=3, 4$ 는 전체 지상 범위를 영상화할 수 있는 반면,  $n=2$ 는  $x$ 의 영역이 [-47.5 km, 5 km]까지, 그리고  $n=5$ 는  $x$ 의 영역이 [-10 km, 47.5 km]까지를 부분적으로 영상화할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 4에서는 직하점에서부터의 지상 거리가 달라짐에 따라, 정상모드와 확장모드에 해당하는 패스번호가 달라짐을 알 수 있다. Fig. 4(a)에서  $x=-47.5$  km일 때  $n=2, 3, 4$ 는 정상모드에서 이용되고,  $n=5, 6$ 은 확장모드에 해당된다. Fig. 4(b)에서와 같이  $x=0$  km일 때는  $n=2, 3, 4, 5$ 가 정상모드,  $n=6, 7$ 이 확장모드이며, Fig. 4(c)에서와 같이  $x=47.5$  km일 때는  $n=3, 4, 5$ 가 정상모드,  $n=6, 7$ 이 확장모드에서 이용될 수 있다. 한편, 확장모드에서는 pulse repetition frequency의 감소로 인한 azimuth 해상도의 감소 및 과도한 입사각으로 인한 그림자 현상이 발생할 수 있다. 또한 안테나의 물리적인 회전이 필요하기 때문에 확장모드는 응급 상황 시에만 사용되고 일반적으로는 정상모드가 사용된다.

레이더 측량기법은 Fig. 5에서 보듯이 쌍을 이루는

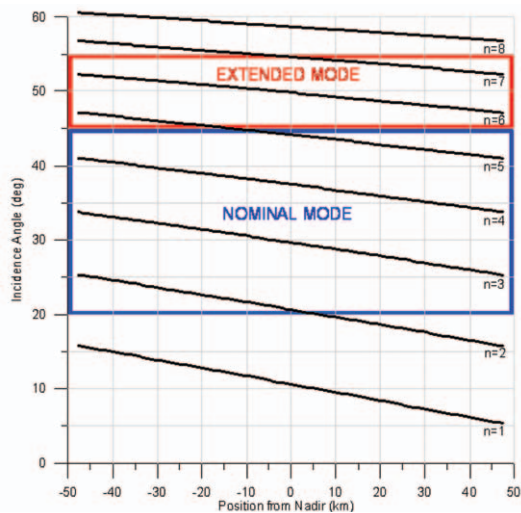


Fig. 3. Incidence angles as a function of the distance  $x$  from the nearest nadir.

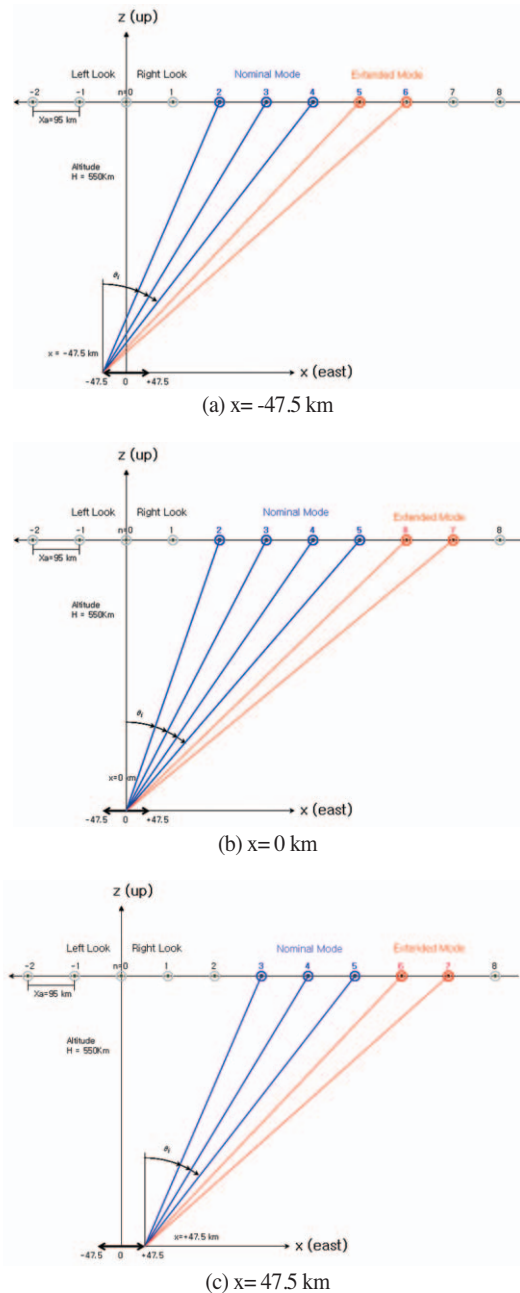


Fig. 4. Radargrammetric geometry at different locations from the nearest nadir.

두 영상의 위치에 따라 그 위치가 서로 같은 방향에 있는 Same-Side Radargrammetry(SSR)과 서로 다른 방향에 있는 Opposite-Side Radargrammetry(OSR)로 구분될 수 있다(Ford et al., 1993). 보통 OSR은 SSR보다 더 높은 고도민감도를 가지지만 심한 지형 왜곡으로 인해 평탄한 지역에서만 사용할 수 있기 때문에

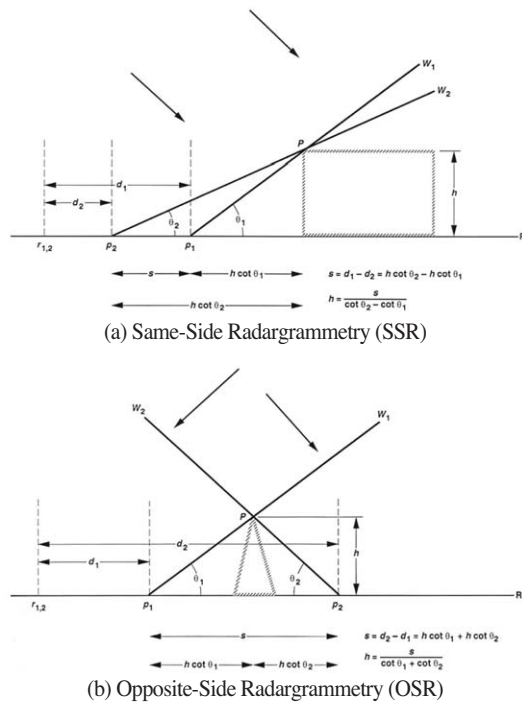


Fig. 5. Geometries of radargrammetry of (a) same-side and (b) opposite-side (Ford et al., 1993).

한반도와 같이 산악지형이 많은 곳에서는 비실용적이다 (Toutin, 1996). 따라서 이 연구에서는 SSR 기법만을 사용하였다. 두 영상의 입사각이  $\theta_1, \theta_2$ 로 주어졌을 때, 시차(parallax)  $s$ , 고도  $h$ , 고도민감도 및 고도해상도는 다음과 같이 나타낼 수 있다(Ford et al., 1993).

$$s = h \cot \theta_2 - h \cot \theta_1 \quad (6)$$

$$h = \frac{s}{\cot \theta_2 - \cot \theta_1} \quad (7)$$

$$\frac{\partial s}{\partial h} = \cot \theta_2 - \cot \theta_1 = \frac{2 \sin \Delta}{\cos \Delta - \cos 2\theta} \quad (8)$$

$$\Delta h = \frac{\partial h}{\partial s} \Delta s \quad (9)$$

여기서  $\theta = (\theta_1 + \theta_2)/2$ 는 두 영상의 평균 입사각이며,  $\Delta = \theta_1 - \theta_2$ 는 두 입사각의 차이이다.  $\Delta s$ 는 영상에서 구분 가능한 시차의 최소거리로서 영상의 해상도와 비슷하다고 할 수 있다.

Fig. 6은 평균 입사각에 따라 시차의 고도민감도와 고도해상도를 나타낸 것이다. 고도민감도는 평균입사각이 증가할수록 감소하고, 입사각의 차이가 클수록 증가한다. 따라서 평균입사각이 작고 입사각의 차이가 큰 영

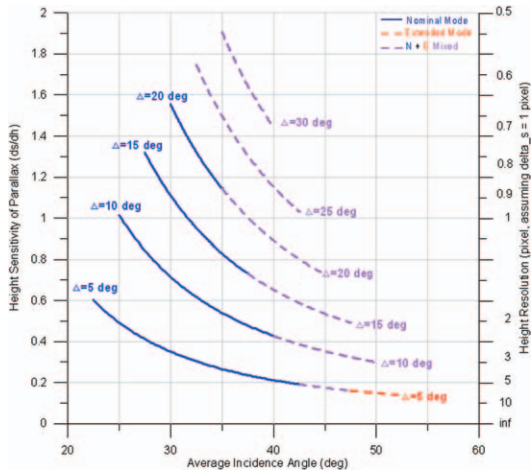


Fig. 6. Height sensitivity of parallax at equator as a function of the average incidence angle.

상쌍이 DEM의 정확도를 높이는데 우선시 된다. 그러나 실제적으로는 foreshortening, layover, shadow와 같은 SAR 영상의 지형 왜곡에 의한 한계가 존재하기 때문에, 일반적으로 산악지형에서 고도민감도의 범위는 1 이하에서 선택된다.

Fig. 7은 지상 범위  $x$ 에 따라 시차의 고도민감도와 고도해상도를 나타낸 그래프이다. 영상 조합 3-2와 5-3은 0.6 - 0.9까지의 고도민감도 범위를 가지며 이 두 쌍을 이용하면 전체 지상 범위에서 레이더 측량기법을 적용할 수 있다. 이 영상 조합을 얻기 위해서는 3-2는 하루, 5-3은 이들의 시간이 필요하여 비교적 짧은 기간

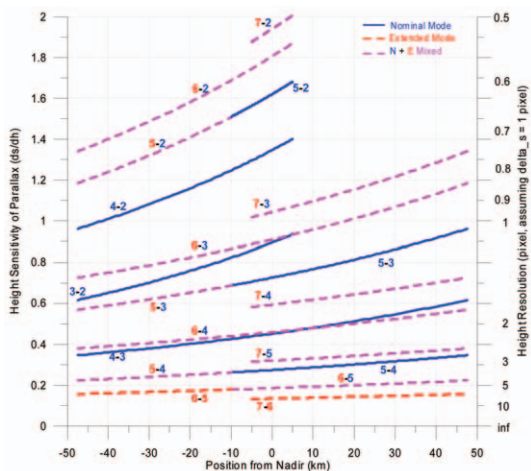


Fig. 7. Height sensitivity and height resolution of parallax at equator as a function of position from nadir.

내에 영상쌍을 얻을 수 있기 때문에 시간적 변화에 따른 이미지 프로세싱 오차를 최소화 할 것으로 보인다. 따라서 이 영상 조합은 적도에서의 DEM 획득을 위한 장기 간적인 임무로 적합하다고 할 수 있겠다. 하지만 영상 획득의 시간이 가장 중요시 되는 응급 상황에서는 Fig. 7에서 제시되는 다양한 영상 조합을 선택할 수도 있으며, 상승모드에서도 또 하나의 비슷한 조건의 레이더 측량기법을 위한 영상쌍이 존재한다.

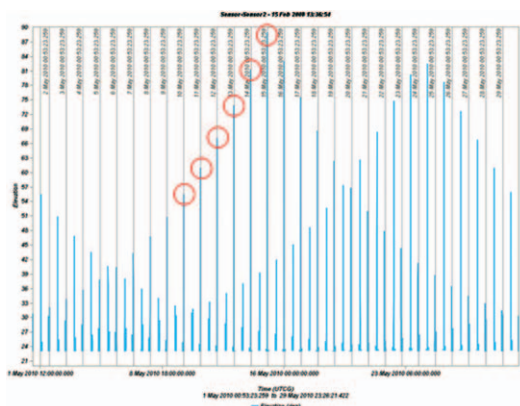
#### 4. 임의의 지점(대전과 남극 세종기지)에서의 레이더 측량기법

임의의 위도를 가지는 지점에서는 적도에 비하여 인접 패스간의 거리가 다르고 궤도 또한 서로 평행하지 않는 등 복잡한 양상을 보이므로 적도에서 제시된 고도민감도와 조합 가능한 궤도가 그대로 적용될 수 없다. 따라서 위성의 궤도를 도시화할 수 있는 STK (Satellite Tool Kit) 소프트웨어를 이용하여 KOMPSAT-5의 궤도를 계산하여 레이더 측량기법에 사용될 수 있는 최적의 영상 조합을 제시하였다.

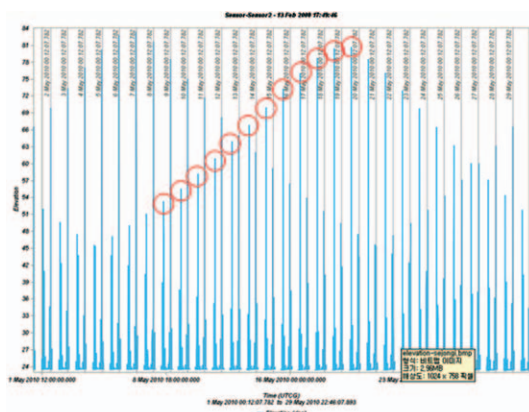
이 논문에서는 임의의 지점에서 대전과 남극 세종기지를 예로 들었다. Fig. 8은 두 지점에 대해 위성의 재방문 주기인 28일 동안 위성의 고도각(elevation angle)을 나타낸 그래프로서, (a)는 대전, (b)는 세종기지를 나타내었다. 이는 하강패스에서 정상모드만을 고려한 것으로서, 해당하는 패스를 원으로 표시하였다. 또한 위성이 진행하는 방향으로 안테나의 지향 각도(skew angle)가 0도이고 오른쪽을 지향(right-looking)할 때를 가정하여, 위성의 고도각 중에서 각각의 패스에서 최고의 값을 선택하여 영상의 입사각으로 선정하였다.

Table 3은 대전에서 선택된 패스 번호인 4, 5, 6, 7, 8에 대하여 영상쌍의 고도 민감도를 나타내었다. 이때의 입사각은 약 22-43°의 값을 가진다. 이 논문에서는 고도 민감도가 0.5에서 0.8의 값을 가지는 영상쌍을 최적의 영상 조합으로 선정하였으며, 이는 5-4, 7-5, 8-5 쌍의 총 세 쌍이 해당한다.

Table 4는 남극 세종기지에서 선택된 패스 번호와 입사각의 조합을 나타낸다. 총 11개의 패스 번호 (6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16)가 정상모드에 해당하였고,



(a) Daejeon



(b) Sejong Antarctic Station

Fig. 8. Elevation angles at (a) Daejeon and (b) Sejong Antarctic Station during 28-day repeat cycle of KOMPSAT-5. Circles indicate the maximum elevation angle in each descending orbits.

Table 3. Height sensitivity of parallax at Daejeon in terms of incidence angles ( $\theta_1, \theta_2$  in degree) and pass number ( $n$ ). Three pairs suitable for radargrammetry are highlighted in grey

$\theta_2(n)$ \ $\theta_1(n)$	22.92° (4)	29.05° (5)	34.46° (6)	39.14° (7)	43.16° (8)
22.92° (4)	0.00	-0.56	-0.91	-1.14	-1.30
29.05° (5)	0.56	0.00	-0.34	-0.57	-0.73
34.46° (6)	0.91	0.34	0.00	-0.23	-0.39
39.14° (7)	1.14	0.57	0.23	0.00	-0.16
43.16° (8)	1.30	0.73	0.39	0.16	0.00

계산된 입사각은 약 19~44°의 값을 가진다. 패스 조합에서 고도민감도가 약 0.5에서 0.8 사이인 최적의 영상 조합은 8-6, 9-7, 10-7, 11-8, 12-8, 13-9, 14-9, 15-9, 15-10, 16-10 쌍으로서, 총 열 쌍이 제시되었다.

위와 같이 대전과 남극을 비교해 보았을 때, 레이더 측량기법에 적합한 영상 조합은 고위도로 갈수록 그 수가 많아진다. 이는 고위도로 갈수록 인접 영상간의 간격이 줄어들기 때문이며, 따라서 고위도 지방에서는 레이더 측량기법의 활용이 더욱더 용이할 것으로 사료된다.

### 5. 결론

이 논문에서는 KOMPSAT-5의 궤도 특징과 SAR 영상의 모드를 레이더 측량기법 적용의 관점에서 분석하였다. 예시를 위하여 하강패스에서 정상모드로 촬영

Table 4. Height sensitivity of parallax at Sejong Antarctic Station in terms of incidence angles ( $\theta_1, \theta_2$  in degree) and pass number ( $n$ ). Ten pairs suitable for radargrammetry are highlighted in grey

$\theta_2(n)$ \ $\theta_1(n)$	19.97° (6)	23.17° (7)	26.08° (8)	29.03° (9)	31.79° (10)	34.36° (11)	36.69° (12)	38.91° (13)	40.93° (14)	42.83° (15)	44.58° (16)
19.97° (6)	0.00	-0.42	-0.71	-0.95	-1.14	-1.29	-1.41	-1.51	-1.60	-1.67	-1.74
23.17° (7)	0.42	0.00	-0.29	-0.53	-0.72	-0.87	-0.99	-1.10	-1.18	-1.26	-1.32
26.08° (8)	0.71	0.29	0.00	-0.24	-0.43	-0.58	-0.70	-0.80	-0.89	-0.96	-1.03
29.03° (9)	0.95	0.53	0.24	0.00	-0.19	-0.34	-0.46	-0.56	-0.65	-0.72	-0.79
31.79° (10)	1.14	0.72	0.43	0.19	0.00	-0.15	-0.27	-0.37	-0.46	-0.53	-0.60
34.36° (11)	1.29	0.87	0.58	0.34	0.15	0.00	-0.12	-0.22	-0.31	-0.38	-0.45
36.69° (12)	1.41	0.99	0.70	0.46	0.27	0.12	0.00	-0.10	-0.19	-0.26	-0.33
38.91° (13)	1.51	1.10	0.80	0.56	0.37	0.22	0.10	0.00	-0.09	-0.16	-0.22
40.93° (14)	1.60	1.18	0.89	0.65	0.46	0.31	0.19	0.09	0.00	-0.07	-0.14
42.83° (15)	1.67	1.26	0.96	0.72	0.53	0.38	0.26	0.16	0.07	0.00	-0.06
44.58° (16)	1.74	1.32	1.03	0.79	0.60	0.45	0.33	0.22	0.14	0.06	0.00

된 SSR(Same-Side Radargrammetry)일 때를 가정하였다. 먼저 적도에서는 기하학적인 방법을 이용하여 레이더 측량기법에 적합한 두 개의 영상 쌍(3-2, 5-3)을 찾아냈다. 이 영상 쌍은 고도민감도 0.6 - 0.9의 고도민감도를 가지며 하루나 이틀 안에 영상을 얻을 수 있는 장점이 있다. 또한 임의의 위도를 가지는 지점의 예로서 대전과 남극 세종기지를 선정하였으며, STK 소프트웨어를 이용하여 KOMPSAT-5의 궤도를 구현하였다. 이들 지역에서는 고도민감도가 0.5 - 0.8인 영상 쌍을 선정하였다. 그 결과 대전에서는 세 쌍, 남극 세종기지는 열 쌍의 영상 조합에서 레이더 측량기법에 적용이 양호한 것으로 계산되었다. 이는 고위도로 갈수록 인접 패스간의 거리가 줄어들어 레이더 측량기법이 가능한 영상 조합의 수가 증가함을 알 수 있다. 또한 이 논문에서 분석한 하강패스뿐만 아니라 상승패스에서도 이와 비슷한 영상 쌍이 찾아지며, 응급 시에는 확장모드까지 사용된다면 레이더 측량기법을 적용하기 위한 영상이 보다 많아질 것으로 예상된다.

## 사 사

이 연구는 한국항공우주연구원의 다목적실용위성 5호 시스템종합개발사업의 지원을 받으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Ford, J. P., J. J. Plaut, C. M. Weitz, T. G. Farr, D. A. Senske, E. R. Stofan, G. Michaels, and T. J. Parker, 1993. Guide to Magellan Image Interpretation, NASA, JPL.
- KARI, 2007. Summary of Mission and Concept of Operations, KOMPSAT-5 SAR User Group Workshop, Jeju, May 29.
- Toutin, T., 1996. Opposite-side ERS-1 SAR Stereo Mapping Over Rolling Topography, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34(2): 543-549.