

# 가상기준점을 이용한 Radargrammetry로부터 수치고도모형 생성 Generation of Digital Elevation Model from Radargrammetry Using Pseudo Control Points

손홍규<sup>1)</sup> · 송영선<sup>2)</sup> · 윤공현<sup>3)</sup> · 신대호<sup>4)</sup>

Sohn, Hong-Gyoo, Song, Yeong-Sun, Shin, Dae-Ho

- 1) 연세대학교 사회환경시스템공학부 조교수, E-mail: sohn1@yonsei.ac.kr
- 2) 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사과정, E-mail: point196@yonsei.ac.kr
- 3) 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사과정, E-mail: ykh1207@yonsei.ac.kr
- 4) 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사졸업, E-mail: daeho@yonsei.ac.kr

## 요 지

SAR 영상을 처리하는 과정에 있어 기준점을 취득하는 일은 매우 어렵고 시간과 비용이 많이 소모된다. 본 연구에서는 기준점 취득문제를 해결하기 위해서 단일기준점으로부터 가상기준점을 생성하여 위성궤도를 모델링하고 이를 이용하여 수치고도모형을 생성하는 기법을 제시하였다. 가상기준점을 이용하여 생성된 수치고도모형의 정확도를 평가하기 위해서 추가적으로 10개의 기준점을 이용하여 수치고도모형을 생성하였다. 각각 생성된 수치고도모형을 수치지도로부터 생성된 수치고도모형과 비교하여 정확도를 평가하였다.

## 1. 서 론

광학영상과 마찬가지로 SAR영상으로부터 수치고도모형을 생성하기 위해서 정확한 위성의 궤도를 결정하는 것은 매우 중요하다. 일반적으로 대부분의 위성은 헤더자료에 일정간격으로 다수의 천체력 자료 혹은 이를 대체할 수 있는 정보를 제공한다. 따라서 위성에서 제공하는 궤도 관련 정보가 정확하다면 기준점 없이 위성궤도를 모델링할 수 있다. 기준점 없이 궤도를 모델링한다는 것은 실시간적으로 자료처리 수행할 수 있는 가능성을 제공하며, 또한 많은 시간과 비용을 줄일 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 대부분의 위성은 세차운동(precession), 장동(nutation), polar motion 등으로 인해 위성궤도에 오차가 발생하며, 이로 인해 위성에서 제공하는 천체력자료의 정확도가 낮을 경우 잘 분포된 다수의 기준점을 이용하여 위성의 궤도를 보정해야 한다.

그러나 SAR 영상에는 스펙클과 같은 노이즈가 영상전체에 분포하고 있고, 기하학적 왜곡 특성도 중심투영을 하는 인간의 시각특성과 달라 실제 SAR 영상으로부터 많은 기준점을 취득하기란 매우 어렵다. 또한 기준점을 취득할만한 도면자료가 존재하지 않는 지역(예를 들어 극지방, 밀림지역 등)에 있어 기준점 정보를 취득하기 위해서는 GPS나 현지측량 등으로 기준점을 취득해야 하며 이는 많은 노력과 자원을 투자해야 한다. 특히 홍수나 지진, 화산폭발 등과 같은 자연재해가 발생했을 경우에는 대상지의 지형에 많은 변화가 일어나고, 따라서 평상시 지도나 도면으로부터 동일점을 취득하기란 매우 어렵다.

따라서 SAR 영상을 활용하는데 있어 요구되는 기준점의 수를 줄이거나 정확한 기준점을

취득하는 기법에 대한 연구는 영상취득 기하구조나 대상지역의 형상에 따른 정확도분석 (Toutin, 1999, 2000, 2002) 못지않게 매우 중요한 연구이다. Toutin 등(2003)은 여러 장의 SAR 영상의 기하보정을 수행하는 과정에서 기준점의 수를 줄이기 위해 광속조정을 통한 블록조정 기법을 제시하였고, 이때 최소한 6점 이상의 정확한 기준점이 필요하다고 발표하였다. 그러나 보다 향상된 정확도를 위해서는 이보다 많은 기준점이 필요하다고 지적하였다. Domik 등(1986)은 수치고도모형을 이용하여 모의영상을 생성하고 모의영상과 실제영상에서 대응하는 동일점을 기준점으로 활용하는 기법을 발표하였다. Chen and Dowman(1996, 2001)은 ERS-1영상과 RADARSAT 영상으로부터 3차원좌표를 결정하는 과정에서 기준점의 영향을 줄이기 위해서 위도에 따른 경중률 행렬을 이용하는 방법을 제시하였으며, Smith (2003)은 비교적 정확한 천체력 자료를 제공하는 ERS 영상의 궤도 오차를 제거함으로써 기준점 없이 실시간적 기하보정을 수행할 수 있는 방법을 제시하였다.

RADARSAT-1 SAR 영상의 경우 위성헤더자료에서 제공하는 천체력 자료가 부정확할 뿐만 아니라 제공되는 시간 간격 또한 480초로서 매우 크다. 따라서 천체력자료만을 이용하여 궤도를 모델링 할 경우 위성궤도에 매우 많은 오차가 포함된다. 따라서 RADARSAT-1 SAR 영상을 이용하여 3차원 위치를 결정하기 위해서는 반드시 다수의 정확한 기준점을 이용하여 위성궤도를 보정해야 한다.

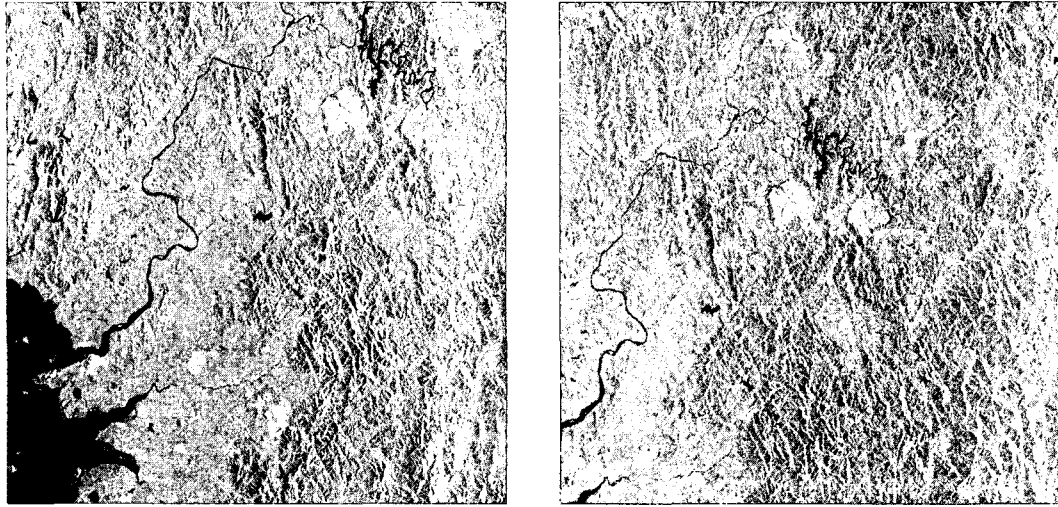
본 연구에서는 RADARSAT-1 SAR 위성영상의 궤도모델링 시 요구되는 기준점의 수를 줄이기 위해서 천체력 자료로부터 초기 위성궤도매개변수를 결정하고 단일기준점으로부터 가상기준점을 생성하여 위성궤도를 모델링 하는 기법을 제시하였다. 이렇게 결정된 위성궤도매개변수를 이용하여 수치고도모형을 생성하고, 그 결과를 전통적인 방법인 다수의 기준점을 이용한 결과와 비교하여 정확도를 평가하고 그 적용가능성을 확인하였다.

## 2. 연구대상지역 및 사용위성영상

본 연구에서는 단일 기준점으로부터 가상기준점을 생성하여 위성궤도를 보정하고 이를 이용하여 수치고도모형을 생성하였다. 대상지역은 한반도의 중부지방을 촬영한 RADARSAT-1 SAR 영상을 이용하였으며, 이 영상은 산악지역과 평지지역, 도시지역 등을 고루 포함하고 있다(그림 1). 영상의 처리 레벨은 SGF (SAR Georeferenced Fine Resolution)이고, 지상거리, orbit oriented, 방사보정이 수행되지 않은 16bit 영상이다. 영상의 자세한 특성은 표 1에서 보여주고 있다.

표 1. 사용된 RADARSAT-1 SAR 영상의 특성

Beam mode	Acquisition Date	Orbit	Full-scene size (azimuth, range)	Nominal resolution (range×azimuth)	pixel spacing
Standard - 4	11/15/99	Des.	8019, 9014	25.4×27.2	12.5
Standard - 7	08/30/99	Des.	7918, 8958	19.9×27.1	12.5



a. 11/15/99

b. 08/30/99

그림 1. 사용된 수치고도모형

### 3. 가상기준점 궤도보정

위성의 헤더자료에는 위성의 궤도정보와 관련된 천체력 자료를 제공하며, 이러한 천체력 자료를 이용하여 위성궤도를 모델링 할 수 있다.

제공되는 천체력자료가 매우 정확하다면 위성궤도매개변수를 보정할 필요가 없다. 그러나 천체력 자료가 부정확할 경우에는 위성궤도매개변수를 보정해야 한다. 위성궤도매개변수의 보정은 일반적으로 최소제곱조정을 통해 수행된다. SAR 영상의 경우, 지상과 영상간의 관계는 도플러 방정식( $F_D$ )과 경사거리 방정식( $F_R$ )으로 정의되고(Curlander, 1982, Mohr 등, 2001), 지상점( $P_G$ )과 영상점( $p_i$ )와의 관계는 위성궤도매개변수( $a_0, a_1, \dots, a_n$ )에 따라서 식(1)의 관계를 가진다.

$$p_i = F_{D,R}(a_1, \dots, a_n; P_G) \quad (1)$$

여기서, 도플러 방정식과 경사거리방정식이 비선형 함수이므로 이를 선형화하면 식 (2)와 같다.

$$p_i = F_{D,R}(a_1^0 + \Delta a_1, \dots, a_n^0 + \Delta a_n; P_G) \approx F_{D,R}(a_1^0, \dots, a_n^0; P_G) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial F_{D,R}}{\partial a_i} \Delta a_i \quad (2)$$

식 (2)에서 최소제곱조정을 이용하여 위성궤도매개변수의 보정량( $\Delta a_1, \dots, \Delta a_n$ )을 결정하기 위해서는 다수의 기준점( $P_G, p_i$ ) 요구된다. 위성의 위치와 속도를 시간에 대한 2차 다항식으로 가정할 경우, 최소한 9점 이상의 기준점이 요구된다. 안정적인 조정을 위해서는 자유도를 고려하여 충분한 수의 기준점이 필요하고, 이때 기준점의 분포 또한 매우 중요하다. 최소제곱수행시 요구되는 기준점은 천체력자료부터 결정된 위성궤도매개변수가 지상점( $P_G$ )과 영상점( $p_i$ )간에 정오차(편위)를 발생(Chen and Dowman, 2001, 손흥규 등, 2004)시키는

특징을 이용하면 필요한 가상의 기준점을 무한히 생성할 수 있다(그림 2). 이러한 오차특성을 이용하여 가상기준점의 생성과정은 아래와 같다.

- 1) 정확한 단일 기준점 취득(▲,▲)
- 2) 천체력 자료부터 초기 위성궤도 매개변수 계산
- 3) 초기 위성궤도 매개변수를 이용하여 단일 지상기준점(▲)에 대응하는 영상점( $\Delta$ ) 계산
- 4) 단일 지상기준점으로부터 계산된 영상좌표( $\Delta$ )와 단일 영상기준점(▲)으로부터 정오차( $\Delta r_x, \Delta r_y$ ) 결정
- 5) 단일 지상기준점을 기준으로 지상공간에  $\Delta X, \Delta Y$ 간격으로 격자망 생성
- 6) 격자망에 임의의 고도값( $\Delta h_i$ )을 부여하여 가상의 지상기준점(●) 생성
- 7) 초기 위성궤도 매개변수를 이용하여 가상의 지상기준점(●)에 대응하는 영상점(O) 계산
- 8) 영상점(O)에 정오차량( $\Delta r_x, \Delta r_y$ )만큼 보정하여 가상의 영상기준점(◆) 생성(단, 영상에서 벗어나는 점 제외)

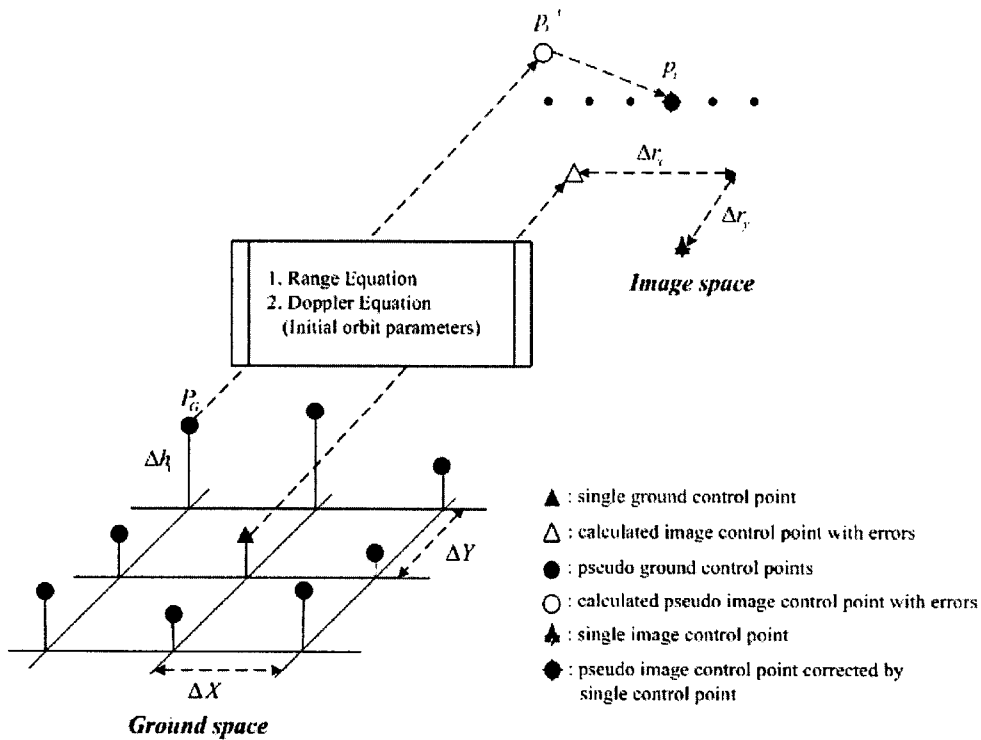


그림 2. 단일기준점으로부터 가상기준점 생성

### 3. Radargrammetry를 이용한 수치고도모형 생성

본 연구에서는 먼저 검사점에 3차원 위치를 결정하고 정확도를 검증하였다. 표 2에서 보는 바와 같이 가상기준점으로부터의 3차원 위치결정 정확도와 10개의 기준점으로부터의 3차원 위치결정 정확도는 유사하게 나타났다.

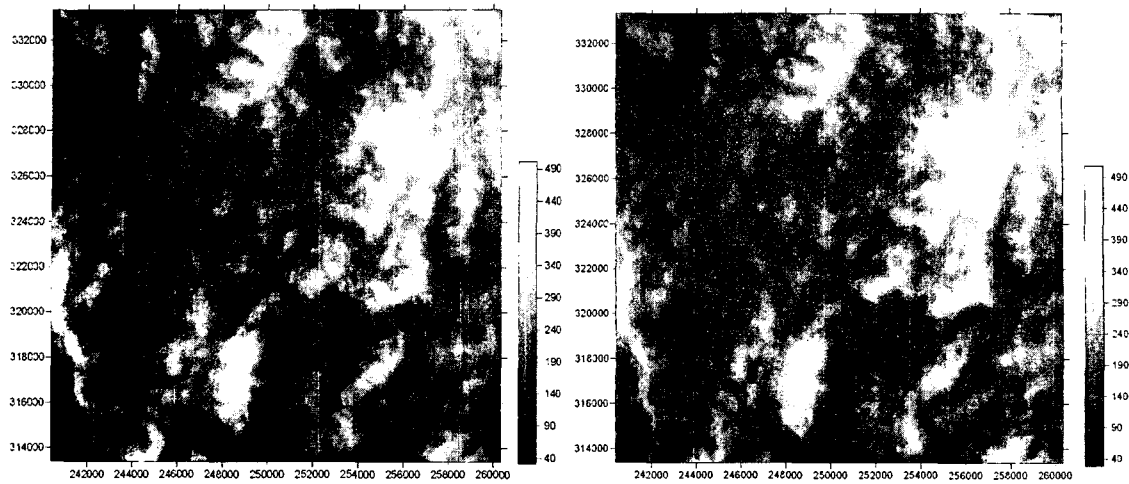
표 2. 검사점에 대한 3차원 위치결정 정확도(단위:m)

검사점 수		가상 기준점				10개의 기준점			
		RMSE	Min. error	Max. error	Mean error	RMSE	Min. error	Max. error	Mean error
12	E	34.8	1.1	56.5	29.2	38.9	0.3	80.7	25.6
	N	16.8	0.3	37.1	13.2	23.8	1.0	44.6	19.9
	H	42.7	0.4	69.2	35.8	28.6	1.0	54.1	22.8

입체영상으로부터 수치고도모형의 생성을 위해서 영상정합은 영상피라미드 기법을 이용한 상관관계영상정합기법을 이용하였으며, 스펙클노이즈를 제거하기 위해서 Gamma Map필터를 적용하였다. 영상정합의 정확도를 높이고 탐색범위를 줄이기 위해서 부등각 사상변환을 이용하여 주영상을 기준으로 부영상을 영상등록하였다. 생성된 수치고도모형의 해상도는 20m이고 크기는 1000×1000영상소(지상 20km×20km), Bessel 타원체, TM 127도 기준 좌표계이다. 그림 3은 각각 가상기준점으로부터 생성된 수치고도모형과 10개의 기준점으로부터 생성된 수치고도모형을 나타내고 있다. 각각 생성된 수치고도모형을 수치지도로부터 생성된 수치고도모형(그림 4)과 비교하여 정확도를 평가하였고, 표 3은 그 결과를 보여주고 있다. 두 수치고도모형의 평균고도는 기준 수치고도모형 보다 다소 높게 계산되었으며, 최대 고도는 낮게 생성되었다. 두 수치고도모형 고도의 평균오차와 RMSE는 모두 유사하게 나타났다. 수치고도모형의 오차는 위성 궤도모델링에 의한 오차뿐만 아니라 대상지역이 대부분 산악지역이기 때문에 영상정합에 의한 오차, 격자보간 시 오차 등이 포함되어 있다. 그림 3과 표 3에서 보듯이 가상기준점의 수치고도모형 정확도와 10개 기준점의 수치고도모형 정확도가 매우 유사함을 알 수 있고, 따라서 수치고도모형의 생성 시 가상기준점 궤도모델링 기법이 매우 효과적이고 실용적으로 적용 가능함을 알 수 있다.

표 3. Radargrammetry로 생성된 수치고도모형의 정확도(단위:m)

	수치지도	가상기준점	10개의 기준점
Mean height	174.52	201.10	200.576
Maximum height	580.68	514.33	520.34
Minimum height	29.54	23.42	31.58
Mean height error	/	36.39	37.39
Height RMSE	/	43.86	45.79



(a) 10개 기준점 (b) 가상 기준점

그림 3. 입체영상으로부터 생성된 수치고도모형  
(단위:m, 해상도 :20m, 크기:1000×1000영상소, Bessel TM 127도)

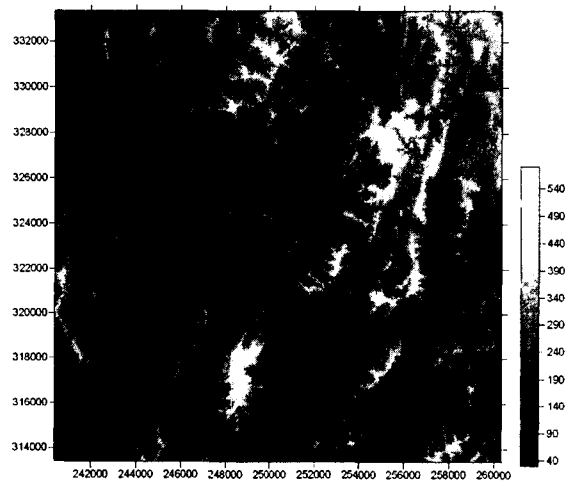


그림 4. 수치지도로부터 생성된 수치고도모형  
(단위:m, 해상도:20m, 크기:1000×1000영상소, Bessel TM 127도)

#### 4. 결론

본 연구에서는 SAR 영상의 처리에 있어 요구되는 기준점의 수를 줄이기 위해서 단일기준점으로부터 생성된 가상기준점을 이용하여 위성궤도를 모델링하고, 비교적 헤더정보가 정확하지 못한 RADARSAT-1 SAR 입체형상에 적용하여 수치고도모형을 생성하였다. 또한 정확도 평가를 위해서 10개의 기준점을 이용하여 위성궤도를 모델링하고 수치고도모형을 생성하였다.

각각 생성된 수치고도모형을 수치지도로부터 생성한 수치고도모형과 비교한 결과, 가상기준점 궤도모델링 경우 고도값의 RMSE가 43.86m, 평균오차 36.39m이고, 10개의 기준점을 사용한 경우 RMSE가 45.79m, 평균오차 37.39m로서 두 결과 모두 유사한 오차를 보였다.

결론적으로 영상에서의 위치에 상관없이 정확한 하나의 기준점만 취득할 수 있다면 가상 기준점으로부터 RADARSAT-1 SAR 위성영상의 정확한 궤도모델링이 가능하고, 따라서 가상기준점 위성궤도모델링 기법은 수치고도모형 생성 시 잘 분포된 다수의 기준점을 취득해야하는 문제를 해결할 수 있는 아주 유용한 기법으로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 RADARSAT-1 standard, SGF 영상에 대해서만 적용하여 결과를 분석하였으나, 이외의 다른 영상포맷에도 적용이 가능할 것으로 판단된다.

## Reference

- 손홍규, 송영선, 김기홍, 방수남, 2004, 단일기준점을 이용한 RADARSAT SAR 영상의 엄밀 기하보정, 대한토목학회논문집, 제24권, 제1D호, pp. 107-115
- Chen, P. H., I. J. Dowman, 1996, Space Intersection from ERS-1 Synthetic Aperture Radar Images, Photogrammetric Record, 15(88), pp 561-573
- Chen, P. H., I. J. Dowman, 2001, A Weighted Least Squares Solution for Space Intersection of Spaceborne Stereo SAR Data, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 39, no. 2, pp 233-240
- Curlander, J. C., 1982, Location of Spaceborne SAR imagery, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. GE-20, no. 3, pp 359-364
- Mohr, J. J., S. N. Madsen, 2001, Geometric correction of ERS Satellite SAR images, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 39, no. 4, pp 842-850
- Smith, A. J. E., 2003, Near real-time geocoding of SAR imagery with orbit error removal, Int. J. Remote Sensing, vol. 24, no. 24, pp. 5219-5228
- Toutin, T., 1999, Error Tracking of Radargrammetric DEM from RADARSAT Images, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 37, no. 5, pp 792-789
- Toutin, T., 2000, Evaluation of Radargrammetric DEM from RADARSAT Images in High Relief Areas, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 38, no. 2, pp 792-789
- Toutin, T., 2002, Impact of terrain slope and aspect on radargrammetric DEM accuracy, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 57, pp. 228-240
- Toutin, T., 2003, Path Processing and Block Adjustment With RADARSAT-1 SAR Images, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 41, no. 10, pp 2320-2328