

# 영상에 포함된 위치정보를 사용한 실시간 SAR Geocoding (Real Time SAR Geocoding using Satellite Ephemeris Information)

손홍규\*, 박정환\*\*, 송영선\*\*, 이형기\*\*\*

연세대학교 공과대학 사회환경·건축공학부 토목전공

## 1. 개요

SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상은 능동적 탐측기로 전자기파를 직접 보내고 돌아오는 신호의 강도에 따라 지상의 물체의 특성을 위상(phase) 및 진폭(amplitude)을 이용하여 고해상도의 영상으로 파악할 수 있는 간섭성 시스템(coherent system)이다. 특히 태양의 반사파에 의존하는 수동적 탐측기와 달리 밤과 낮 구분 없이 영상을 취득할 수 있는 큰 장점이 있다. 또한 송신하는 파장(wavelength)이 구름의 입자보다 크기 때문에 구름과 소량의 강우에는 영향을 거의 받지 않고 고해상의 영상을 획득할 수 있기 때문에 구름이 많이 끼는 지역, 상습강우지역, 극지방의 연구 및 재해지역의 연구에 많이 이용되고 있다. 일반적으로 사용되고 있는 가시광선대의 인공위성 시스템과는 다른 파장대로 그 특유의 반사특성을 가지고 있기 때문에 지상의 물체를 파악하는데 그 고유의 특성을 이용하는 고유 자료 및 다른 파장대에 대한 보충자료로 널리 이용되고 있다 (Schreier, 1993).

특히 1991년 발사된 ESA(European Space Agency)의 ERS-1 SAR의 성공적인 지구관측에 따라 ERS-2, JERS-1이 연이어 발사되었고, 1995년에 발사된 RADARSAT-1은 최초로 남극의 고해상도 영상지도를 만드는 데 사용되어 그 이용도의 새 장을 열었다(Noltimier et al., 1999). 1997년 3월 미국 오하이오주에서 발생한 집중강우로 인해 많은 지역이 침수되었고 미 육군 공병단소속의 원격탐측 및 GIS Center에서는 이 강우의 영향을 FEMA(Federal Emergency Management Agency)에 보고 평가하는 자료로 RADARSAT 영상을 사용하였으며 그 활용가능성을 발표하였다. 이 역시 레이더가 두터운 구름층을 통과하여 침수 지역의 면적을 파악할 수 있다는 데서 비롯되었다.

본 연구는 긴급 재해상황, 예를 들면, 홍수시 또는 홍수 후 침수지역에 대한 정확한 침수면적 및 침수에 따른 피해상황을 분석하는데 새로운 위성관측시스템으로 SAR를 이용하는 방안이 앞서 먼저 선행되어야 할 실시간 geocoding에 대해서 알아보고자 한다.

SAR는 수동적 인공위성 체계와는 달리 전자기파의 신호를 빛의 속도로 보내고 돌아오는 신호의 진폭 및 위상을 동시에 측정할 수 있는 간섭성 시스템(coherent system)이다. 따라서 전자기파를 보낸 시간과 돌아오는 시간을 측정함으로써 각각의 영상소(pixel)에 해당되는 위치정보를 수동적인 인공위성시스템과는 달리 신속하고, 정확하게 구할 수 있는 가능성을 지니고 있다. SAR영상과 함께 주어지는 영상의 위치정보(ephemeris information)의 정확도와 이용되는 지상기준점의 정확도에 따라서 영상소 위치정보의 정확도도 달라진다. 일반적으로 수행되고 있는 지상기준점과

\* 연세대학교 사회환경·건축공학부 토목전공 조교수

\*\*\* 연세대학교 사회환경·건축공학부 토목전공 석사과정

영상의 위치정보를 이용한 SAR영상의 geocoding 문제는 본 연구에서 추구하고자 하는 실시간(real-time) 홍수예측시스템 개발의 취지에 어긋나는 부분이 있어, 본 연구에서는 단지 실시간에 들어오는 영상의 위치정보만을 이용해 SAR geocoding을 수행하여 그 정확도에 대해서 알아보았다. 이와 같은 시도는 GPS(Global Positioning System) 및 위성의 추진 시스템의 발달로 인해 위성의 현재위치를 정확하게 파악할 수 있다는 데서 비롯되었다.

## 2. SAR 영상의 geometry

SAR 영상을 다른 영상이나 지형공간정보체계와 연관시키는데 있어서 SAR 영상을 지상의 절대 좌표와 연결시키는 과정은 필수적인 것이라 할 수 있다. 광학적인 센서로부터 얻은 다른 위성영상과 마찬가지로 기하 보정이 안된 원래의 SAR영상도 많은 기하학적인 왜곡을 포함한다. 특히 SAR는 지표의 대상물을 비스듬하게 관측하기 때문에 일반 사진측량 및 위성측량에서 사용하는 기하특성을 사용하기가 어렵다. 그러나 일반 광학센서라는 달리 SAR 영상에서는 센서의 attitude가 크게 영상소 위치에 영향을 미치지 않기 때문에 영상소의 위치정확도가 광학센서보다는 높게 나타난다(Curlander and McDonough, 1991). 일반적인 SAR 영상의 영상취득방법은 그림 1에 나타난 것과 같다.

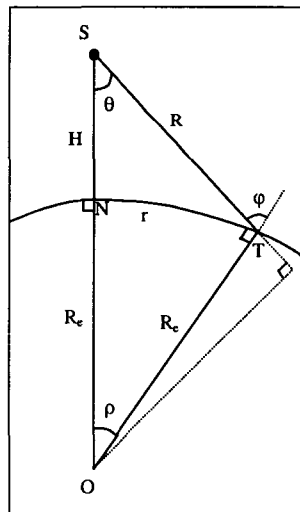


그림 1. Side Looking SAR Geometry

그림1에서 SAR를 탑재한 위성 S가 지구중심 O와 지구반경  $R_e$  인 지상에서 대상물 T를 관측하고 있다. 위성 S에서 지상의 대상물을 바라보는 각도  $\theta$ 를 look angle 이라고 하며, 그때 거리 R을 경사거리(slant range)라고 한다. 그리고 그 때 대응하는 지표상의 거리 r을 지상거리(ground range)라고 한다. 그림에 나타난 각  $\phi$ 를 SAR 빔(beam)에 대한 대상물의 입사각(incidence angle)이라 한다. 위에 표시한 거리 및 각을 이용하여 SAR영상에 관계되는 여러 값들

간의 상호 관계를 다음의 식으로 요약하여 표시할 수 있다.

$$r = \rho R_e \quad (1)$$

$$\phi = \rho + \theta \quad (2)$$

$$\sin \phi = \frac{R_e + H}{R_e} \sin \theta \quad (3)$$

$$\cos \theta = \frac{R^2 + 2HR_e + H^2}{2R(R_e + H)} \quad (4)$$

$$R^2 = 2R_e(R_e + H)(1 - \cos \rho) + H^2 \quad (5)$$

### 3. 실시간 SAR Geocoding

Geocoding이란 SAR영상을 일반적으로 알려져 있는 UTM(Universal Transverse Mercator) 또는 UPS(Universal Polar Stereographic)와 같은 지도투영좌표상으로 영상을 재배열(resampling)하는 과정을 뜻한다. 일반적으로 사용되는 상용 소프트웨어는 지상기준점과 다항식을 이용하여 SAR 영상을 geocoding 하거나, SAR영상에 포함된 위성의 위치정보 및 지상기준점을 사용하여 위성궤도를 정확하게 모형화하는 과정을 포함한다. 특히 다항식을 사용하는 경우 반드시 지상기준점이 필요하게 된다. 본 연구에서 사용하고자 하는 방법은 Li(1995)가 제안하였듯이 한 SAR 영상이 관측하는 지역은 상대적으로 좁기 때문에 지상좌표와 영상소간의 관계를 복잡하고 정교한 관계식으로 표현하는 것이 시간상으로 비효율적일수도 있다는 가정하에서 출발하였다.

본 연구에서 추구하고자 하는 geocoding 방법은 SAR영상과 함께 주어지는 영상의 4 모서리점의 경위도 좌표와 영상중심의 경위도좌표를 이용하여 실시간으로 SAR영상좌표와 지상좌표를 관계식으로 표현하여 나머지 영상좌표에 대하여 적용하는 것이다. 이 방법은 다음과 같은 과정을 거쳐 수행하게 된다.

먼저 지도투영된 수치고도모형(DEM)이 있다고 가정한다. 만약 수치고도모형이 없으면 고도의 값을 모두 0이라고 가정한 수치고도모형으로부터 출발한다. 고도가 없는 경우는 고도의 영향을 배제한 geocoding 결과물이 산출되게 된다. 또한 수치고도모형은 지도투영관계식으로부터 각 위치에 해당하는 경위도 좌표값을 가지고 있다. 수치고도모형의 최대 및 최소 범위는 SAR영상에서 주어지는 경위도의 최소값보다 조금 더 작게 그리고 경위도의 최대값보다는 약간 크게 잡는다.

두번째 단계는 수치고도모형의 각 요소에 해당되는 경위도 좌표를 다음의 식을 이용하여 정규화된 3차원 직교좌표(Normalized Cartesian Coordinate)로 변환한다. 여기서 정규화 과정이라는 것은 지구의 반경을 1로 하는 구면 좌표계를 뜻한다.

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi_i \cos \lambda_i \\ \cos \phi_i \sin \lambda_i \\ \sin \phi_i \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서,  $\phi$ 와  $\lambda$ 는 각각 경도와 위도를 뜻한다.

세번째 단계는 정규화된 3차원 직교좌표를 영상의 중심을 Z축으로 하는 국소직각좌표계(local tangential coordinate system)로의 변환이다. 이 단계는 다음과 같은 방법으로 변환된다(그림 2 참조). 먼저 Z축을 경도  $\lambda$  만큼 회전한다. 그리고 Z축을 회전된 X축, X' 축의 방향으로  $(\pi/2 - \phi)$ 만큼 기울인다. 따라서 이 과정으로부터 Z' 축은 지구의 중심으로부터 SAR 영상의 중심을 통과하고, X' 축은 영상의 중심에서 자오선에 접선인 새로운 국소직각좌표계 (X' Y' Z') 로 변환이 이루어진다.

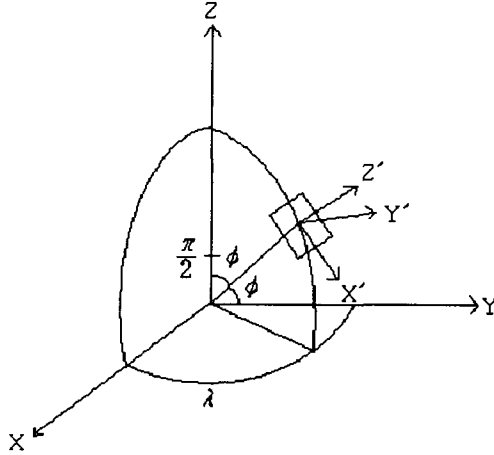


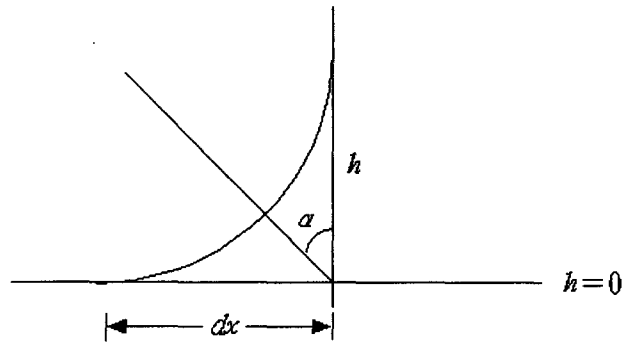
그림 2. 국소직각좌표계로의 변환

$$\begin{bmatrix} X'_i \\ Y'_i \\ Z'_i \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \phi \cos \lambda & \sin \phi \sin \lambda & -\cos \lambda \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \phi \cos \lambda & \cos \phi \sin \lambda & \sin \phi \end{bmatrix} \quad (7)$$

네번째 단계는 위 단계에서 변환된 X' , Y' 과 SAR 영상좌표 x, y와의 관계를 정립하는 것이다. 이 관계를 다음과 같은 12개의 미지수를 가지는 2차 다항식으로 나타낸다. 2차항의 계수는 4개의 모서리점과 1개의 영상중심점 그리고 4개의 모서리점에서 유도되는 1개의 가운데 점으로부터 구한다.

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 + a_1 X'_i + a_2 Y'_i + a_3 X'_i Y'_i + a_4 X'^2_i + a_5 Y'^2_i \\ b_0 + b_1 X'_i + b_2 Y'_i + b_3 X'_i Y'_i + b_4 X'^2_i + b_5 Y'^2_i \end{bmatrix} \quad (8)$$

마지막 단계는 지표면의 영향에 따른 영상의 변위를 단지 위성진행방향에 수직인 방향으로만 작용한다고 생각하여 그에 따른 영향을 고려하는 것이다(그림 3 참조). 그림에서  $\alpha x$ 는 지형에 따른 변위량이고,  $\alpha$ 는 레이다 빔의 입사각이다. 만약 수치고도모형이 없다면 이 과정은 고려하지 않아도 된다.



$$dx = -h / \tan \alpha$$

그림 3. 지형의 기록에 따른 SAR 영상의 변위

지금까지의 geocoding 과정을 종합하여 나타내면 다음의 그림 4와 같다.

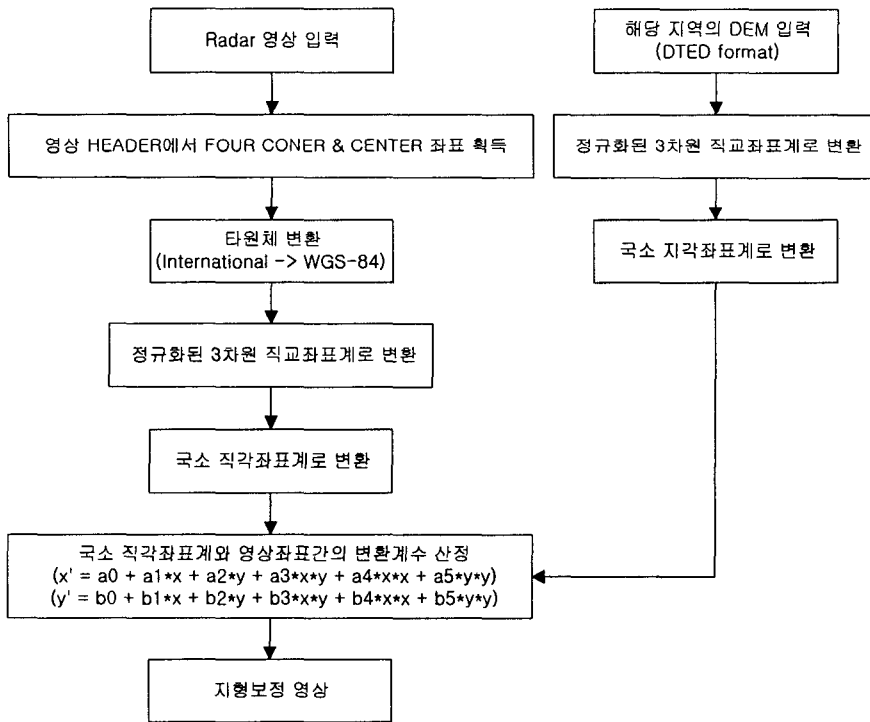


그림 4. 실시간 SAR Geocoding 과정

#### 4. 연구대상지역 및 결과

본 연구에 사용한 영상은 RADARSAT F5(Fine Beam Mode 5) 영상으로 경기도 남양·용인,

충청남도 아산·평택·예산·진외에 걸쳐 총 면적 50km×50km에 해당되며, 한 영상소의 실제 지상거리는 6.25m이다. 그림 5는 본 연구에 사용된 지상거리(ground range) RADARSAT 영상을 보여주고 있다.

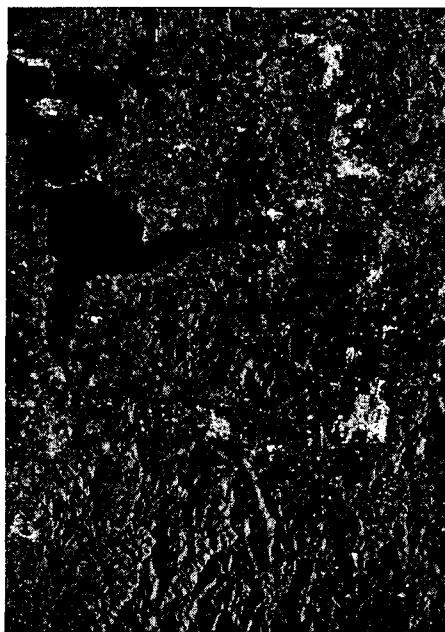


그림 5. 실험에 사용한 RADARSAT 영상(Fine beam5 Mode : 8473(row)×6123(col))

한편, geocoding을 위한 해당지역의 수치고도모형은 경도 126° ~128° , 위도 N36° ~N38° 에 해당하는 DTED level 1(간격: 3 arc seconds ≍ 100m)자료를 이용하여 제작하였으며, 국부적인 지형확인을 위해서는 수치지도를 이용한 수치고도모형을 제작하기도 하였다. 그림 6과 7은 제작된 수치고도모형을 고도에 따른 밝기값 형태로 나타낸 것이다.

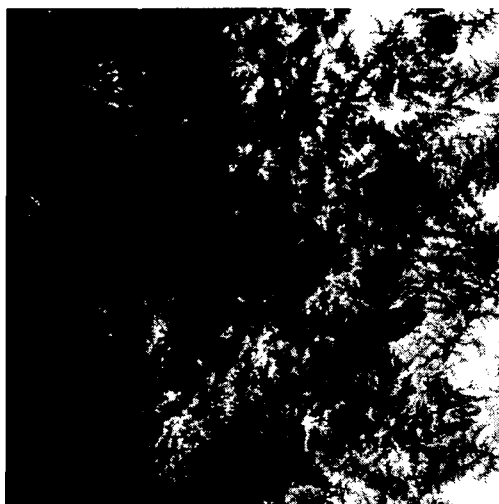


그림 6. 해당지역의 전체 수치고도모형 (N36° ~N38° , E126° ~E128° )

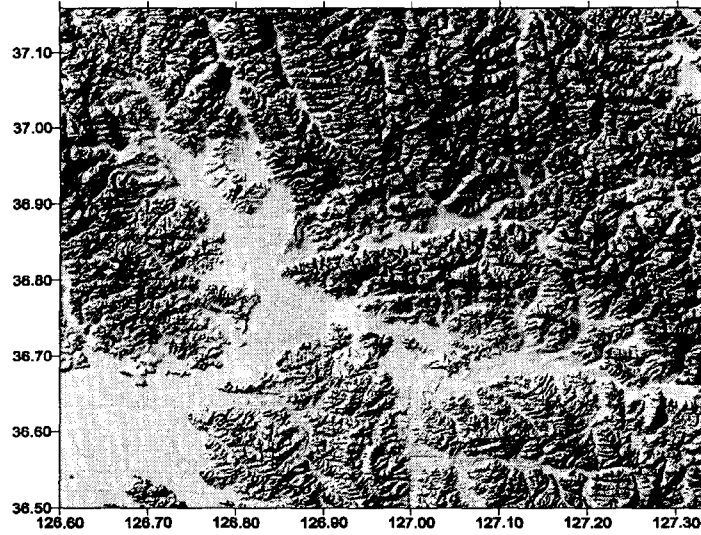


그림 7. RADARSAT 영상에 해당하는 수치고도모형(추출한 수치고도모형)  
(N36.5° ~N37.16° , E126.6° ~E127.33° )

본 연구에서 사용된 SAR geocoding에서 계산된 변환계수(식 (8) 참조)는 표 1과 같으며, 위성 위치정보로부터 얻은 영상의 4 모서리점 및 중심점 등의 경위도 좌표는 표 2와 같다.

표 1. 국소 직각좌표계와 영상좌표계간의 변환 계수

x	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
	3061.500	-164325.673	1008431.211	-7804644.537	15359725.616	-7739580.575
y	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$
	4236.500	1004408.845	163397.813	-1460604.659	2873997.593	-1242698.051

표 2. RADARSAT 영상의 4 모서리점과 중심점의 경·위도 좌표(International 타원체 기준)

point position	위도 (단위:degree)	경도 (단위:degree)
center	36.862118	126.999540
upper left	37.069842	126.739264
upper right	37.124876	127.164145
lower left	36.598887	126.836511
lower right	36.654122	127.258702

그림 8은 표 1의 계수를 이용하여 수치고도모형에 해당하는 영상좌표를 계산하여 영상재배열한 geocoding 영상이다.



그림 8. Geocoding 결과 영상(2241(row)×2001(col), 해상도 : 33.3m)

또한, 본 연구에서는 그림 8의 geocoding 영상과 대상지역의 수치고도모형을 합쳐서 그림 9와 같은 3차원 합성영상을 얻을 수 있었다. 이러한 3차원 가시화 방법을 통하면 해당 지역에 대한 각종 지형정보(경사, 고도, 형태 등)를 쉽게 파악할 수 있는 장점이 있다.

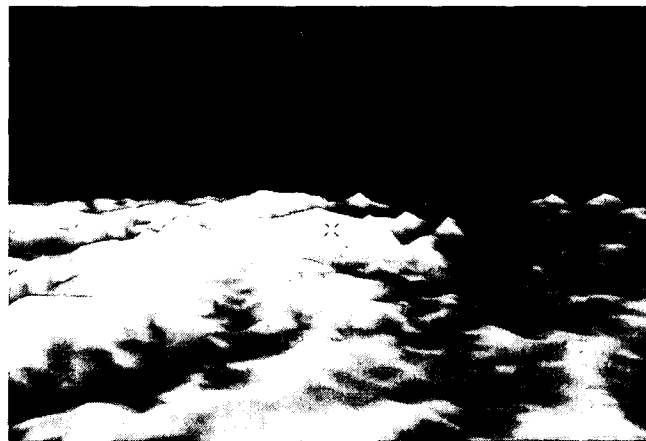


그림 9. geocoding 영상과 DEM을 합한 3차원 영상



geocoding된 영상의 정확도 판별을 위해 충청남도 평택 일부지역에 대하여 12.5m 간격의 수치 고도모형을 수치지도로부터 제작하여 geocoding을 수행해보았다. 그림 10에서 보듯이 수치지도와 geocoding된 영상을 중첩시켜 보았을 때 시각적으로 큰 오차 없이 일치함을 확인할 수 있었다.



그림 10. 수치지도와 geocoding 영상의 중첩(평택 일부지역: 8km×6km)

## 5. 결론

실시간 SAR Geocoding을 위한 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구과정을 통한 SAR Geocoding 알고리즘은 실시간으로 전송되는 최소한의 위성자료만을 사용함으로 각종 재해 발생시 재해지역의 신속한 도면화가 가능한 방법이다.
2. geocoding 영상과 수치지도의 중첩결과로 미루어보아 본 연구에서 제작된 geocoding 영상이 올바르게 제작되었음을 확인할 수 있었다.
3. 향후 SAR Interferometry 기법 등을 활용한 정확한 수치고도모형의 제작과 SAR 영상의 정확한 위치정보를 얻을 수 있다면 geocoding 영상의 정확도를 상당부분 향상시킬 수 있으리라 사료된다.

## 6. 참고문헌

1. Curlander, J.C. and McDougough, R.N., 1991, Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing, John Wiley & Sons, Inc.
2. Li, S., 1995, Development and Application of an algorithm for qa two way transformation between the geographical coordinates and the ASF SAR image coordinates, Geophysical Institute, UAF, Fairbanks, Alaska.
3. Noltimier, K.F., K.C. Jezek, H.G. Sohn, B. Li, H. Liu, and 4 others, 1999, RADARSAT Antarctic Mapping Project - Mosaic Construction, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Hamburg, Germany, pp. 2349-2351.
4. Schreire, G. (ed), 1993, SAR Geocoding: Data and Systems, Wichmann.