

## Radarsat 영상의 기하보정 방법에 대한 비교 연구 - DEM 해상도에 따라 -

한동엽\* · 박민호\*\* · 김용일\*\*\*

서울대 공과대학 도시공학과 대학원\* · 목포대 사회과학대학 지적학과 전임강사\*\*

서울대 공과대학 도시공학과 조교수\*\*\*

## A Comparative Study of Geocoding Methods for Radarsat Image - According to the DEM Resolutions -

Dong-Yeob Han\*, Min-Ho Park\*\*, and Yong-Il Kim\*\*\*

Department of Urban Engineering, Seoul National University\*

Full-time Lecturer, Dept. of Cadastral Administration, Mokpo University\*\*

Assistant Prof., Dept. of Urban Engineering, Seoul National University\*\*\*

### Abstract

SAR imagery can overcome the limitations of electro-optical sensor imagery and provide us information which plays a supplementary role. But it is necessary to remove a variety of geometric errors in SAR imagery. An accurate geometric correction of SAR imagery is not easy task to achieve, though some techniques and theories are introduced. We also have difficulties such as transformation problem between 'International' ellipsoid in Radarsat system and 'Bessel' ellipsoid. Two widely used correction method, one is made by simulated image, and the other by collinearity equation, usually use DEM. In this study, the merits and demerits of geocoding methods respectively and the effective method for Korean terrain were found.

Keyword : SAR, Geocoding, Geometric Correction, Radarsat

## 요 약

SAR 영상은 기존의 전자광학적 센서가 갖고 있는 자료취득의 제한을 극복하고, 광학적 센서와 상호보완되는 정보를 제공한다. 하지만 SAR 센서와 지면의 기하학적 특성으로 인하여 영상에 내재되어 있는 다양한 기하학적 왜곡을 제거할 필요가 있다. SAR 영상의 기하보정 방법으로 여러 가지 다양한 기법이 소개되고 있지만, SAR 영상을 정확하게 기하보정하는 것은 쉽지 않다. 특히 Radarsat 위성에 채택되고 있는 "International" 타원체와 국내의 "Bessel" 타원체간의 변환관계가 확립되지 않아 기하보정에 어려움이 있다. 보편적으로 많이 이용되는 모의영상을 이용한 기하보정 방법과 공선조건식을 응용한 기하보정 방법에는 수치표고모형이 이용된다. 본 연구에서는 기하보정에 사용되는 방법간의 장점과 단점을 파악하고 국내에 적용될 수 있는 방법을 찾아냈다.

## 1. 서 론

RADARSAT Standard Mode 영상의 경우 1:100,000 지형도로 이용가능하고(RSI, 1997), SAR 영상 한 쌍이나, Interferometry를 이용하여 수치표고모형을 취득하는 것이 가능하다. 또한 레이다 역산란 계수를 이용한 지형정보의 추출도 가능하다. 하지만 그 이전에 기존 위성영상이나 수치지도와의 결합을 위해 기하보정이 이루어져야 한다. 레이다 영상의 기하보정에 관한 연구는 초기의 RAR(Real Aperture Radar)나 SLAR(Side-Looking Airborne Radar)를 이용한 것이 있으며, 80년대까지 SAR 영상의 이용은 주로 항공기를 이용하였고, 기하보정 연구도 항공기 탑재 SAR 영상에 치우쳤다. 또한 항공기 탑재 SAR 영상은 다중밴드 형태로 취득 가능했기 때문에 방사(Radiometric) 보정 기법도 함께 발전되었다. 1978년에 NASA가 SEASAT 위성을 발사함으로써 위성 SAR 영상의 취득이 가능해졌다. 이후 위성 레이다를 이용하기 위한 일환으로 위성의 운행 초기에 영상의 기하보정 방법이 연구되어 왔다.

SAR는 한쪽 방향으로 영상을 취득하므로 경사방향에서의 왜곡으로 인해 지상좌표 부여 작업을 하기에 매우 복잡한 기하형태를 지니며, 이로 인해 지형정보와 결합시키는 데 상당한 어려움을 갖는다. SAR 영상의 기하보정 방법은 이전 광학영상의 경우와는 달리 위성궤도위치가 중요한 요소가 된다. 일반적으로 위성궤도위치는 영상과 함께 제공되는 위성위치 추산자료(ephemeris data)를 이용한다. 하지만 Radarsat의 기준타원체인 International 타원체에 대해 알려진 정보가 거의 없으며, 타원체 변환에 대한 정보도 공식적으로 발표된 것이 없다. 따라서, 타원체 모델, 거리방정식, 도플러 변이를 이용한 방법으로는 보정을 수행할 수 없다. 지상기준점을 이용한 단순변환은 복잡한 과정을 거치지 않고 이용가능하지만 광학영상보다 기하왜곡이 심한 SAR 영상에서는 더 많은 기준점이 필요하고, 기준점을 찾기도 쉽지 않으며, 기준점 주변에서만 정확하게 보정되기 때문에 기준점이 전체 영상에서 골고루 추출되어야 한다는 어려움을 가지고 있다. 그러나, 높은 정확도를 필요로

하지 않는 분류나 주제도 작성시에는 이 방법을 이용할 수 있다.

95년에 발사된 RADARSAT 위성의 경우, 영상의 기하보정을 위해 초기에 연구가 진행되었지만 최근에는 활발히 이루어지고 있지 않다. 위성 SAR의 기하보정을 위해 Dornik(1986)은 수치표고모형(DEM)을 이용한 모의영상과 실제 영상을 비교하는 방법을 이용하였다. Raggam et al.(1986)은 편향각(squint angle) 조건과 bundle 조정을 이용했으며, Kwok(1987) 등은 Doppler 정보와 3단계 재배열법을 사용한 바 있다. Toutin(1995)은 기준점을 이용하여 위성 기하 모델, 외부표정 요소등을 구하는 사진측량학적 방법을 사용하였으며, 이 방법은 Radarsat SAR 영상의 표준 보정 방법으로 채택되었다. 국내에서는 손홍규(1997)등에 의해 ERS-1 지상거리 자료에 대한 지형보정 연구가 발표되었고, 정수(1997)는 지상기준점을 이용하여 Radarsat 위성의 기하보정에 관한 논문을 발표하였다.

본 연구는 다양한 기하보정 방법을 적용하여 전 국토의 약 70%를 차지하는 산악지대를 보정하는 과정에서 생기는 위치오차를 확인하여 가장 좋은 결과를 나타내는 방법을 찾아내고, 그 방법에 서로 다른 DEM 해상도를 적용함으로써 기하보정에 적합한 DEM 해상도를 알아보고자 한다.

## 2. 연구방법

### 1) 대상지역 및 자료

위치정확도와 방사정확도가 확실하게 정립되지 않은 RADARSAT 영상에 대해 기복이 심한 우리나라의 지형을 고려할 때, 기존의 보정 방법중 대표적인 방법을 적용하고 평가하는 과정이 필요하다. 연구지역은 다양한 지형적 특성을 갖춘 공주지역으로 여기에는 농경지, 산, 강, 도시로 이루어져 전자파와 물체와의 반사특성이 다양하게 나타나며, 표고차는 약 400m로 기복에 의한 왜곡이 나타날 수 있다. 대상지에 대한 SAR 영상은 DEM 자료의 모든 영역을 포함하도록 절취하기 위해 수치지도보다 크게 절취하여 1500×3100 화소를 갖는다. 그림 1은 대상지역을 선형 강조기법을 통해 나타낸 것이다. 연구에 이용된 위성자료는 97년 1월 6일에 취득된 Standard 7 beam의 SLC(single look complex)로서 대전을 포함한 충남지역 영상이다. SAR 영상은 처리 단계에 따라 Signal 자료, SLC 자료, 타원체로 보정된 자료, 특정 지도좌표로 변환된 자료로 구분되는 데, SLC 자료는 Signal 자료에 포함된 수신오류, 타원체 경위도 정보, 반사량 보정등을 수행한 것으로 경사거리 자료이다. 표 1은 영상 헤더정보의 일부분이다. 이 자료는 각각 2바이트의 실수부(I)와 허수부(Q)로 구성되어 한 화소당 4바이트를 차지하지만 영상으로 구현된 반사파를 나타내는 밝기값은 2바이트로 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$DN = \sqrt{I^2 + Q^2} \dots\dots\dots (1)$$

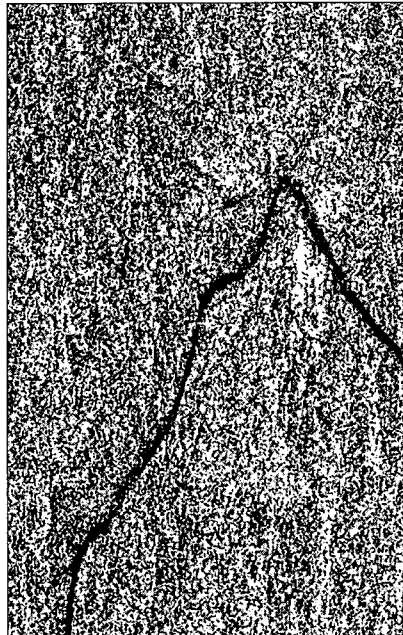


Figure 1. Slant range image of the study area

Table 1. Characteristics of Radarsat SAR data

| 항목                  | 내용                          |
|---------------------|-----------------------------|
| SAMPLE_TYPE         | COMPLEX_INTEGER             |
| LINES, SAMPLES      | 19564, 7044                 |
| PRODUCT_REFERENCE   | SINGLE LOOK COMPLEX         |
| SCENE_ORIENTATION   | 350.8409424                 |
| SCENE_CENTER_LAT    | 36.301023( 36° 18'03.68")   |
| SCENE_CENTER_LON    | 127.228212( 127° 13'41.56") |
| 화소 간격(PIXEL, LINE)  | 11.5957451, 8.1170216       |
| Num. of Looks       | 1                           |
| 해상도(range, azimuth) | 15.0m, 9.0m                 |
| 입사각                 | 27.719 degrees              |

## 2) 수치표고모형

1:25,000 수치지도에 포함된 위치 정보와 등고선을 이용하여 만들어진 수치표고모형은 지형의 복잡성에 따른 기하보정 정확도를 비교하기 위해 5가지로 구분하였다(표 2 참조). 대상지역의 수치표고모형은 UTM 좌표계로 작성된 것이며 수치지도의 등고선, 지물의 높이값을 이용하여 3차원

Table 2. Number of points used for geometric correction in DEM data

| 구 분                            | 이용된 점의 수 |
|--------------------------------|----------|
| 등고선외에 표고점, 건물, 호수등의 높이도 이용된 경우 | 274365   |
| 10m 간격의 등고선만 이용                | 261245   |
| 10m 등고선부터 20m 간격으로 이용된 경우      | 129167   |
| 10m 등고선부터 40m 간격으로 이용된 경우      | 61630    |
| 10m 등고선부터 80m 간격으로 이용된 경우      | 26446    |

자료를 취득하였다. 격자형 자료로 구성하기 위해 Kriging 보간법을 적용하였다. 제작된 수치표고 모형은 모두 5종류로 수평위치는 20×20m 간격이며, 재배열된 자료의 좌표는 왼쪽 하단이(320625, 4026770)이고 오른쪽 상단은(332085, 4040870)이다. 크기는 574열과 706행으로 구성된다.

### 3) 기존의 기하보정 방법

레이다 영상에 대한 보정방법은 여러 방법이 함께 이용되며, 어느 한 가지만 이용되는 경우는 드물다. 하지만 각 방법이 가지는 정확도를 구분함으로써 응용목적에 따라 선택적으로 사용할 수 있다.

#### (1) 지상 기준점과 접합점을 이용한 단순변환

지상기준점을 수작업으로 잡을 때는 강, 교차로나 철로 등의 선형교차점을 우선 찾고, 영상에서 분명하게 나타나지 않을 경우 필터링 같은 전처리과정을 이용한다. 고유한 스펙클 노이즈를 제거하기 위해 국부적 통계량에 근거하는 Frost, Lee, Kuan, MAP filter와 같은 적응필터(adaptive filter)를 적용할 수 있으며, 최근에는 영상 모자이크이나 중첩부분의 자동보정을 위해 자동 접합점 방법이 주로 연구되고 있다. 이 방법은 확실한 구분점이 없는 산악지역에서도 보정을 행할 수 있고, 자동화를 통해 시간절약을 이룰 수 있다는 장점이 있다.

#### (2) 위성위치추정

##### ㄱ. 타원체 모델 이용

센서위치, 위성 매개변수들을 이용하여 임의의 경사거리 영상화소의 측지 좌표를 결정할 수 있다(Curlander, 1982). GEI(Geocentric Equatoria Inertial)에서 지구위의 점의 좌표는  $R_T = (x_T, y_T, z_T)^T$ 로 나타낼 수 있다.  $R_E$ 는 평균적도반경  $h=h(x_T, y_T, z_T)$ 는 고도,  $R_p=(1-f)(R_E+h)$ 이면, 다음 식이 성립한다.

$$\frac{x_T^2 + y_T^2}{(R_E+h)^2} + \frac{z_T^2}{R_p^2} = 1 \dots\dots\dots (2)$$

위성위치추산 정보로부터 위성의 위치벡터  $R_S = (x_S, y_S, z_S)^T$ 와 속도벡터  $V_S$ 를 구하고,  $t_{ij}$ 가 빔 중심이 대상물 위치와 교차하는 시간일 때, 방위방향에서의  $i$ 와 거리방향에서의 샘플  $j$ 로 이루어진 임의의 대상물을  $R_T = (x_T, y_T, z_T)^T$ 라고 할 때, 거리  $R_{ij}$ 는 다음과 같다.

$$R_{ij} = [(R_S - R_T) \cdot (R_S - R_T)]^{0.5} \dots\dots\dots (3)$$

대상물의 좌표도 지구와 함께 회전하기 때문에, GEI체계에서 물체의 속도벡터는  $V_T = \vec{\omega}_e \times R_T$ 이며, 도플러 조건을 이용하면 다음 식이 성립한다.

$$f_D = -\frac{2}{\lambda R} (R_S - R_T) \cdot (V_S - V_T) \dots\dots\dots (4)$$

여기에서,  $\lambda$ 는 레이더 파장,  $V_S$ 는 위성의 속도벡터,  $V_T$ 는 대상물의 속도벡터,  $R_S$ 는 센서의 위치 벡터,  $R_T$ 는 대상물의 위치벡터이다. 임의의 화소에 대해 SAR 프로세서에 의해 계산된 거리  $R_{ij}$ 와 도플러 중심  $f_D$ 가 주어지면, 위의 3개의 식에 의해  $(x_T, y_T, z_T)^T$ 를 구할 수 있다. 대상물 위치에 대한 위의 세 개의 방정식의 해는 반복 과정으로 구해진다. 이렇게 구해진 좌표는 지구중심좌표체계를 기준으로 한 것이므로 특정지역에서 이용할 수 있는 좌표값으로 변환되어야 한다.

ㄴ. 위성위치추산정보를 이용한 방법

위성위치와 지구위의 임의의 점의 위치를 시간  $t$ 의 함수로 변형하고, Newton-Raphson 반복계산법을 이용하면 임의의 시간에서 위성위치를 구할 수 있다. 즉,  $R_T(h) = R_T(0) + hu$ 를 사용해서 DEM을 지구 모델에 포함시킨 후, 한꺼번에 위치결정과 지형보정을 수행한다. 이 방법의 이론적 배경은 German Aerospace Research Establishment(DLR)의 연구원들에 의해 처음 시도되었다(Roth et al, 1989). 여기에는 상대적으로 정확한 DEM위치가 시작점과 보정하기 위해 재배열된 영상으로서 사용될 수 있다는 장점이 있다.

ㄷ. 지상기준점 이용

Radarsat 위성의 기준타원체와 베셀 타원체간의 변환이 어려우므로 위성위치추산자료를 활용하기가 곤란하다. 따라서 지상기준점을 이용한 최소제곱법으로 위성의 위치를 베셀 타원체상의 위치로 추정할 수 있다(정수, 1997). 위성의 위치를 시간  $t$ 에 따라 변하는 다항식( $s_x(t), s_y(t), s_z(t)$ )으로 가정하고, 위성의 속도( $s'_x(t), s'_y(t), s'_z(t)$ )는  $t$ 에 대해 편미분한 것이면, 위성과 대상물 사이의 거리( $r$ )를 나타내는 함수와 도플러 주파수 변이에 대한 함수 두 개를 만들 수 있다.

$$F_1(s_x, s_y, s_z) = r - |p - s| = 0 \dots\dots\dots (5)$$

$$F_2(s_x, s_y, s_z) = f_D - \frac{2(p-s) \cdot (p'-s')}{\lambda |p-s|} = 0 \dots\dots\dots (6)$$

위의 함수는 비선형 함수이므로 Taylor 급수전개에 의해 선형화한 후, 지상기준점을 이용하여

최소제곱조정을 수행하고,  $t$ 와  $r$ 을 결정하기 위해  $F_1(t, r)$ ,  $F_2(t, r)$ 을 이용하여 최소제곱조정을 한 번 더 한다. DEM을 이용하여 3차원 좌표를 갖는 임의의 위치에 대해 위성위치를 구하고, 그에 해당하는 SAR 자료값을 구하여 임의의 위치에 할당한다.

ㄹ. 공선조건식을 이용한 보정

CCRS(Canadian Centre of Remote Sensing)에서 사용되는 방법으로 공선조건식에서 유도된 수학적 모델이 있다(그림2 참조). SAR 영상 헤더에 포함된 궤도, 자세(attitude), 최소 7점의 지상기준점, 지구 타원체에 대한 설정, 도플러 파장, 영상의 중앙과 네 모서리점의 위치 등이 필요하며, 13개의 변수를 풀기 위해 최소제곱조정을 이용한다(Toutin, 1995).

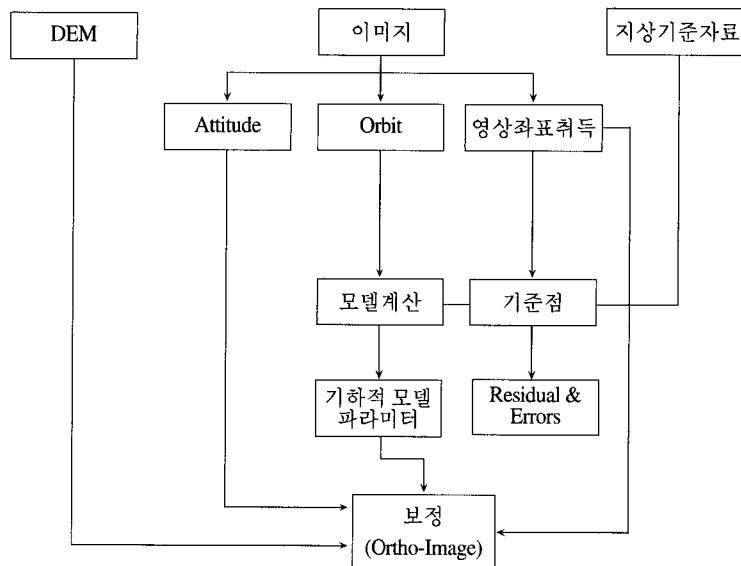


Figure 2. Flow chart of geometric correction process for collinearity conditions

(3) 변환 상관계수 이용

SAR 영상과 모의 영상의 화소사이의 상관 정도를 비교하여 자동 접합점을 추출하며, 변환을 위한 게인(gain), 오프셋을 구하여 기하보정할 수 있다(그림3 참조). 우선 SAR 센서의 기하적 특성, 레이더 특성, DEM을 이용한 표면 기복으로부터 단순화된 모의영상을 얻어 실제 영상과 이차원 area cross-correlation을 비교함으로써, 변환에 필요한 보정치를 구한다. 이 과정에서 각 화소에 대한 부가정보를 제공하는 수단으로 음영과 중복 영상을 생성할 수 있다(Walter and Dieter, 1990).

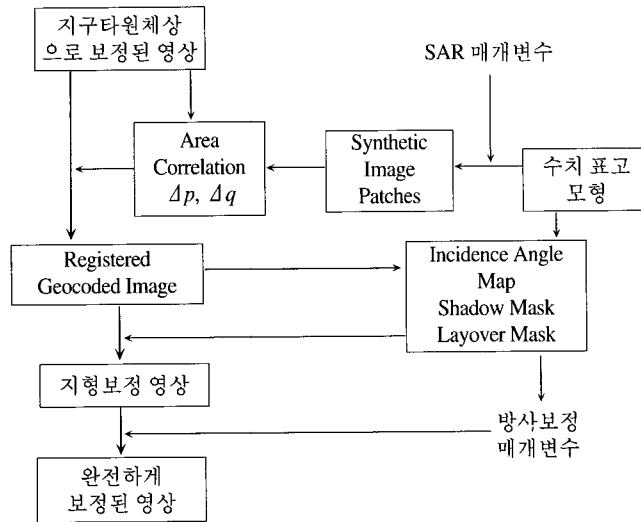


Figure 3. Flow chart of geometric correction process using simulation image

### 3. 데이터 처리와 결과

본 연구에서는 기하보정에 일반적으로 이용되는 세가지 방법을 적용해보았다. 첫째, 기존의 광학 영상의 기하보정 방법으로 이용되고 있는 10여개의 지상기준점을 이용한 단순 변환 방법을 적용하였다. 둘째, DEM과 센서의 파라미터, 레이더 기하특성을 이용하여 만든 단순화된 모의영상에는 지형좌표정보가 포함되어 있으므로, 모의영상과 원영상의 접합점을 이용하여 원영상의 기하보정을 수행하였다. 이 방법은 지상기준점의 변환상관계수를 이용하는 것으로 지상기준점을 찾을 때, 위의 이론에서는 자동접합점을 이용하였지만 본 연구에서는 육안으로 수행하였다. 셋째, 위성 위치 정보, 지상기준점을 이용하여 위성의 3차원 위치를 구하고 이에 따라 물체와 센서의 기하적 관계에서 직접 화소의 지리적 좌표를 알아내어 보정하는 공선조건 응용방법을 적용하였다.

#### 1) 지상기준점을 이용한 단순 변환

수치지도와 SAR 영상사이에 육안으로 구분 가능한 점은 많지 않다. 그 이유는 현재 위성 SAR 영상은 단밴드이고, 영상자체의 고유한 스펙클때문이다. SAR 영상은 국부적으로도 지형에 의한 왜곡이 심하기 때문에 전체에 골고루 기준점이 분포돼야 한다. 기준점중 일부는 보정과정에 이용하고 나머지는 보정식에 대한 검사점으로 이용했다. 표 3은 기준점과 검사점의 잔차를 나타내는 것으로 보정식으로서 2차 다항식을 이용한 경우이고, 그림 4는 기준점과 검사점의 영상내 분포를 나타낸다.



Table 3. The coordinates and errors of GCP and check points

|     | 번호 | 원 영상     |           | 기준 좌표      |             | Residual |        | Error |
|-----|----|----------|-----------|------------|-------------|----------|--------|-------|
|     |    | X        | Y         | X          | Y           | X        | Y      |       |
| 기준점 | 2  | 691.375  | 487.625   | 324907.671 | 4038522.523 | 0.19     | -0.47  | 0.51  |
|     | 4  | 448.375  | 1288.875  | 321649.721 | 4033897.344 | -0.14    | 0.34   | 0.37  |
|     | 5  | 1063.620 | 1817.483  | 331865.651 | 4032600.953 | -0.40    | -0.47  | 0.62  |
|     | 10 | 914.937  | 802.562   | 328734.545 | 4037440.475 | -0.22    | 0.56   | 0.61  |
|     | 14 | 1446.507 | 1619.703  | 337851.976 | 4034463.981 | 0.05     | 0.04   | 0.06  |
|     | 16 | 978.942  | 1837.992  | 330511.744 | 4032309.008 | 0.55     | -0.04  | 0.55  |
|     | 18 | 927.851  | 2795.820  | 330392.933 | 4027370.130 | -0.09    | 0.26   | 0.27  |
|     | 19 | 432.125  | 2364.375  | 322202.162 | 4028458.236 | 0.06     | -0.22  | 0.22  |
|     |    |          | RMS Error |            |             |          | 0.54   | 0.71  |
| 검사점 | 1  | 1033.897 | 1122.036  | 330828.632 | 4036065.326 | 3.00     | -1.09  | 3.19  |
|     | 3  | 881.687  | 961.562   | 328267.102 | 4036513.045 | 3.45     | -5.30  | 6.32  |
|     | 6  | 1134.713 | 951.897   | 332273.925 | 4037155.403 | 5.91     | -2.09  | 6.27  |
|     | 7  | 469.55   | 1146.696  | 321920.351 | 4034663.198 | -2.76    | -0.97  | 2.92  |
|     | 21 | 337.28   | 1510.341  | 320034.559 | 4032566.772 | 0.60     | 7.96   | 7.98  |
|     | 9  | 653.962  | 141.956   | 324039.101 | 4040106.029 | 1.10     | -18.83 | 18.87 |
|     | 11 | 719.535  | 812.12    | 325590.953 | 4036972.982 | 0.84     | 7.73   | 7.78  |
|     | 12 | 1207.040 | 1169.484  | 333559.304 | 4036254.460 | 7.60     | 8.13   | 11.13 |
|     | 13 | 1080.562 | 2786.687  | 332754.729 | 4027766.505 | 3.60     | 6.73   | 7.63  |
|     | 15 | 1208.875 | 351.875   | 332923.212 | 4040481.859 | 11.27    | 13.18  | 17.35 |
|     | 17 | 979.505  | 2597.91   | 331094.806 | 4028490.014 | -1.42    | 2.62   | 2.97  |
|     | 20 | 487.847  | 1857.773  | 322671.693 | 4031109.933 | 2.36     | -0.89  | 2.52  |

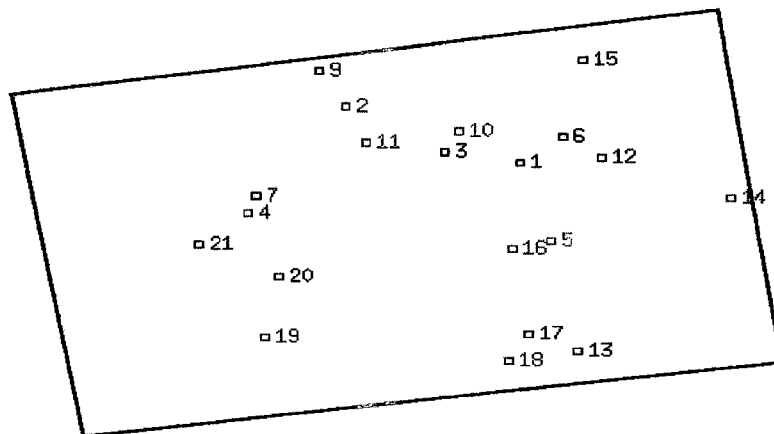


Figure 4. Scatterplot of ground control points and check points

## 2) 모의 영상 이용

위성높이, 진행방향, 최소 관측각, DEM 등 여러가지 요소들만을 이용하여 모의 영상을 만들었기 때문에 실제 원영상과 유사한 모의 영상을 만들지는 못했다. 따라서, 두 영상의 접합점도 찾기가 어려웠다. 모의 영상과 원영상의 접합점을 이용한 보정방법은 공2차 재배열법을 사용하였다. 표 4는 접합점을 근거로 2차 다항식 모형에 대입했을 때 발생하는 잔차값이며, 모의영상과 원영상의 잔차값을 말하는 것은 아니다.

Table 4. Tiepoints of the simulation image and original image

| 번호        | 원 영상     |          | 모의 영상    |          | 높이<br>Z | Residual |        | Error |
|-----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|--------|-------|
|           | X        | Y        | X        | Y        |         | X        | Y      |       |
| 2         | 1033.875 | 1122.625 | 1047.375 | 1384.875 | 35      | 0.27     | 0.11   | 0.29  |
| 4         | 563.625  | 218.875  | 652.625  | 54.125   | 10      | 0.26     | 0.23   | 0.34  |
| 9         | 838.875  | 3007.375 | 927.851  | 2795.820 | 64      | 0.29     | 0.21   | 0.36  |
| 7         | 169.500  | 2434.500 | 432.823  | 2363.000 | 10      | -0.30    | -0.23  | 0.37  |
| 3         | 241.875  | 1372.625 | 447.562  | 1291.437 | 55      | 0.54     | 0.43   | 0.69  |
| 6         | 1074.187 | 2087.562 | 1063.620 | 1817.480 | 100     | -0.59    | -0.41  | 0.72  |
| 8         | 890.625  | 1022.625 | 918.597  | 803.559  | 17      | 0.56     | 0.55   | 0.78  |
| 5         | 596.812  | 643.187  | 691.875  | 485.875  | 20      | -1.03    | -0.89  | 1.36  |
| RMS Error |          |          |          |          |         | 1.08     | 0.90   |       |
| 1         | 252.375  | 1935.375 | 477.625  | 1845.375 | 15      | -0.03    | -11.60 | 11.60 |

## 3) 공선조건식 응용

공선조건식을 세우기 위해 지상기준점이 필요하며, 그 외에 보조자료는 위성위치추산자료를 이용한다. 지상기준점과 영상의 화소 관계, 공선조건식외에 거리 및 도플러 방정식을 이용하여 Bessel 타원체 상에서의 위성모형을 구한다. 위성모형과 대상지 DEM을 이용하여 UTM 투영으로 기하보정을 수행한다. 표 5는 지상기준점과 검사점을 나타낸다.

## 4) 결 과

지상기준점을 근거로 위성위치를 구하는 방법을 이용하기 위해서는 지상기준점의 위치 오차가 기준점과 검사점 모두 일정한 조건을 만족해야 하는데, 해상력이 뛰어난 Fine Mode의 영상을 제외하고 Standard Mode, Scansar Mode 등의 영상에서는 기준점을 정확하게 선정하기가 매우 어려웠다. 지상기준점만을 이용하기 위해서는 영상이 지상의 형태와 어느 정도 일치하는 Fine Mode의 지상거리 영상을 구입하여 보정하는 것이 광학영상의 보정 정확도와 어느 정도 일치하는 결과를 얻

Table 5. Ground control points for collinearity conditions

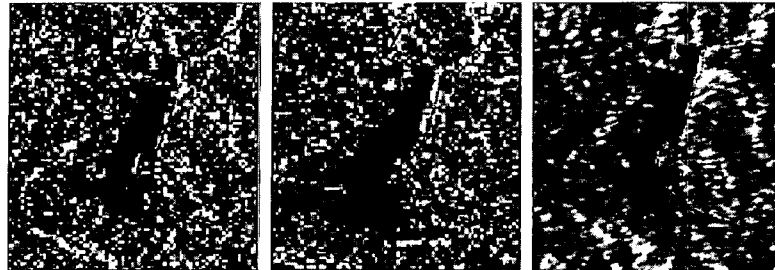
| 번호        | 원 영상    |         | 모의 영상     |            | 높이<br>Z | Residual |       | RMS  |
|-----------|---------|---------|-----------|------------|---------|----------|-------|------|
|           | X       | Y       | X         | Y          |         | X        | Y     |      |
| 8         | 2432.12 | 7264.37 | 322202.16 | 4028458.23 | 10.0    | -0.24    | 0.06  | 0.25 |
| 1         | 2691.06 | 5386.93 | 324907.67 | 4038522.52 | 20.0    | 0.06     | 0.32  | 0.33 |
| 9         | 2487.84 | 6757.77 | 322671.69 | 4031109.93 | 10.0    | 0.35     | 0.27  | 0.44 |
| 7         | 2927.85 | 7695.82 | 330392.93 | 4027370.13 | 46.0    | 0.40     | -0.32 | 0.51 |
| 2         | 2446.96 | 6191.90 | 321649.72 | 4033897.34 | 55.0    | -0.44    | 0.47  | 0.64 |
| 3         | 3064.06 | 6720.93 | 331865.65 | 4032600.95 | 100.0   | 0.11     | -0.72 | 0.73 |
| 10        | 2979.50 | 7497.91 | 331094.80 | 4028490.01 | 67.0    | -0.91    | 0.73  | 1.16 |
| 13        | 2881.18 | 5861.68 | 328267.10 | 4036513.04 | 10.0    | -0.42    | -1.64 | 1.69 |
| 12        | 3033.89 | 6022.03 | 330828.63 | 4036065.32 | 27.0    | 0.00     | 1.73  | 1.73 |
| RMS Error |         |         |           |            |         | 0.44     | 0.95  | 1.05 |
| 11        | 2469.55 | 6046.69 | 321920.35 | 4034663.19 | 40.0    | -2.38    | -2.38 | 3.36 |
| 4         | 2914.18 | 5695.93 | 328734.54 | 4037440.47 | 10.2    | -3.75    | -2.39 | 4.44 |
| 5         | 3446.50 | 6519.70 | 337851.97 | 4034463.98 | 15.0    | -1.17    | 5.60  | 5.72 |
| 6         | 2978.94 | 6737.99 | 330511.74 | 4032309.00 | 0.0     | -4.43    | 4.79  | 6.53 |
| RMS Error |         |         |           |            |         | 3.68     | 4.68  | 5.96 |

을 수 있으리라 여겨진다.

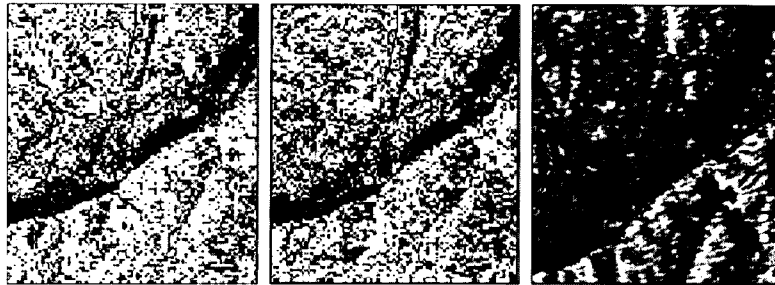
모의영상을 이용한 보정의 경우, 육안으로 접합점을 찾기에는 어려움이 많기 때문에 탐색영역과 기준영역의 자동매칭기법을 이용하는 것이 필요하다. 또한 40m와 80m 등고선을 이용하여 만든 모의영상은 접합점을 찾는 것이 거의 불가능했고, 그 결과 지상기준점만을 이용한 결과보다 보정 정확도가 낮게 나타났다. 보다 정밀한 보정을 위해서는 단순한 위성모델외에 지구곡률이나, 지면효과를 고려한 모의영상의 제작이 필요하다고 본다. 공선조건을 이용한 기하보정 방법은 강, 호수의 경계면과 거의 일치하는 좋은 결과를 보여주었다. 기준타원체에 대한 센서의 궤도위치를 통해 센서와 지면과의 기하관계를 통한 방법이 SAR 영상의 보정에 중요하다는 것을 알 수 있다.

보정 결과에 대한 독립 검사점을 잡기가 쉽지 않았기 때문에, 보정된 영상과 수치지도를 겹쳐서 육안으로 정확도를 평가하였다. 그림 5는 다른 지형특성을 나타내는 곳에 대해 보정된 영상과 수치지도를 겹친 것으로 공선조건을 응용한 방법, 지상기준점을 이용한 단순 변환, 모의 영상을 이용한 방법순으로 좋은 결과를 보여주고 있다. 기복변위가 심한 산악지형의 경우도 여전히 다항식 방법이 나왔지만, 거의 차이를 구별할 수 없다. 공선조건 응용방법의 결과는 수치지도와 거의 일치하였는데, 특히 산악지역에서도 위성에 면한 곳과 반대쪽 면의 반사값 차이가 등고선 형태와 유사하게 나타났다. 공선조건 응용방법은 재배열과정에서 해상도를 10m로 하고, 노이즈 제거를 위해 mode 필터가 적용된 영상이다.

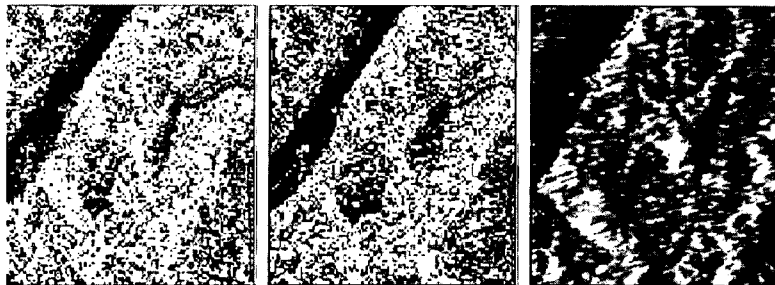
공선조건 응용식을 이용한 기하보정 방법에서 DEM 해상도의 영향을 알아보기 위해 산악지역의 보정결과를 해상도별로 나타내면 그림 6과 같다. 강을 따라서 위치한 등고선을 보면 40m와



(a1), (b1), (c1) Around the Lake



(a2), (b2), (c2) Around the River



(a3), (b3), (c3) River, mountain, field



(a4), (b4), (c4) Mountain

Figure 5. Overlaying the rectified image with digital map (a) Simple Transformation using GCP (b) Use of simulation image (c) Use of Collinearity condition

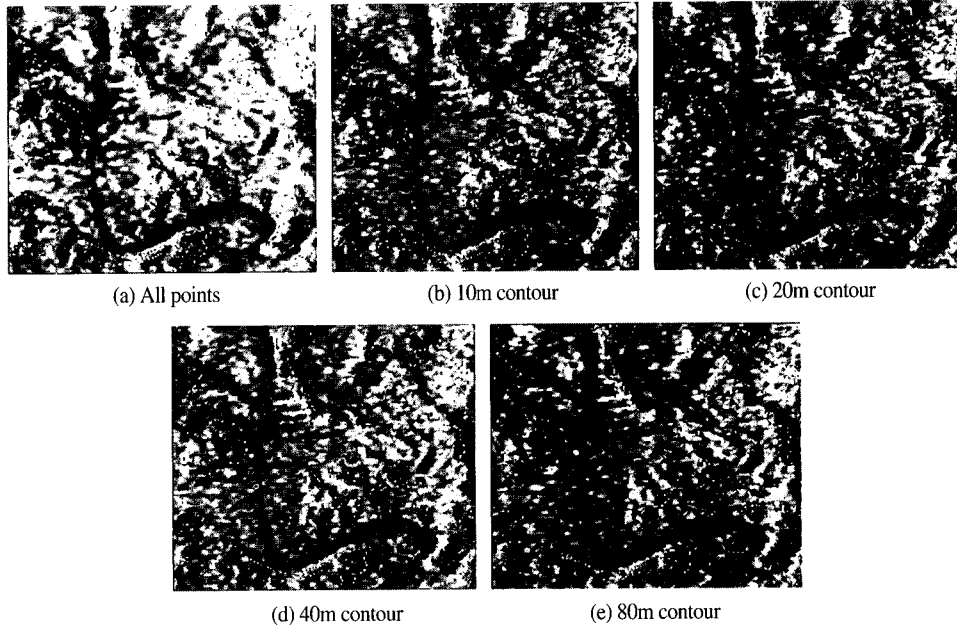


Figure 6. Overlapping the digital map with geometric corrected image

80m 등고선에 의한 DEM을 이용하여 보정한 경우 강의 경계와 일치하지 않은 것을 알 수 있다. 산악에서는 기준 지물을 확실하게 구분할 수 없어 보정결과를 해상도별로 비교할 수는 없지만, 대체적으로 모든 경우에 산의 계곡이나 산등성이와 거의 일치한다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 본 연구에서 수행된 세 가지 기하보정 방법 중 공선조건식, 거리방정식, 도플러 변이, 위성의 자세, 지상기준점, 타원체 모델을 고려한 경우가 가장 좋은 보정결과를 보여주었다. 위성궤도에 대한 보다 정밀한 자료와 지상기준점 및 아직 정립되지 않은 타원체 변환 문제가 앞으로 해결되면, 해상도 1m의 고해상도 영상이나 항공사진과의 영상접합도 가능하리라 본다.

둘째, 본 연구에서 수행하고자 한 DEM 해상도와 기하보정 정확도간의 관계는 수치지도를 오버레이한 그림에서 볼 수 있듯이 2화소이내의 오차를 기준으로 한다면 20m 이하 간격의 등고선으로 만든 DEM으로 기하보정이 가능함을 알 수 있다. 검사점을 찾기가 어려웠기 때문에 구체적으로 규명하지는 못했지만, 이후 넓은 지역을 대상으로 충분한 수의 검사점을 통하여 DEM 해상도와 기하보정 정확도간의 관계식도 세우는 것이 필요하다.

## 참고문헌

- 손흥규, 정 수, 유복모, 1997, 헤더파일에 포함된 위치추산자료를 이용한 ERS-1 지상거리 SAR 영상의 지형보정, 대한토목학회논문집, 17(III-1) : 471-482.
- 정 수, 1997, Radarsat 위성의 위치결정과 SAR 자료의 정확도 향상에 관한 연구, 연세대학교 대학원, 박사학위논문.
- Curlander, J. C., 1982, Location of Spaceborne SAR Imagery, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, GE-20 : 359.
- Domik G., Leberl F. W. and Cimino, J. B., 1986. Multiple Incidence Angle SIR-B Experiment Over Argentina: Generation of Secondary Image Products, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 24(4).
- Kwok, R., Strobl, D. and Triebnig, G., 1986. The rectification of SAR image data using a digital elevation model and image simulation techniques. Forschungsgesellschaft Joanneum, Graz, ESA Contract Rep., 6292/85/HGE-I, Technical Note 17.
- RADARSAT, 1997, Data Products Specifications, Radarsat International.
- Kwok, R., Curlander, J. C. and Pang, S. S., 1987. Rectification of terrain induced distortions in radar imagery, *Photogrammetr. Eng.*, 53 : 507-513.
- Roth, A., H. Craubner and Th. Bayer, 1989, Prototype SAR geocoding algorithms for ERS-1 and SiR-C/X-SAR images, *Proc. IGARSS '89(Vancouver, Canada)*, Vol. 2, 604-607.
- RSI, 1997. RADARSAT ILLUMINATED Your Guide to Products and Services.
- Toutin Thierry, 1995. Multisource data fusion with an integrated and unified geometric modelling, *EARSeL ADVANCES IN REMOTE SENSING*, 4(2).
- Toutin Thierry and Philip Cheng, 1995. High accuracy data fusion of satellite and airphoto images, *ACSM/ASPRS Annual Convention & Exposition*.
- Walter G. K., Dieter Strobl, 1990. The Generation of SAR Layover and Shadow Maps From Digital Elevation Models, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 28(1) : 98-107.