

직각정규화와 DEM 자료 융합을 이용한 광역 DEM 생성

예철수 · 전병민 · 이쾌희

서강대학교 전자공학과

A Wide DEM Generation Based on Orthorectification and DEM Data Fusion

Chul-Soo Ye, Byung-Min Jeon, and Kwaе-Hi Lee

Dept. of Electronic Engineering, Sogang University

Abstract : The purpose of this paper is to combine digital elevation models (DEM) using SPOT satellite stereo images. After DEM extraction, a grid of longitude and latitude is generated using the results of DEM extraction. Heights at each grid location are determined from the obtained DEMs by using triangular image warping interpolation that uses the heights of the three nearest neighbors. The final heights at each grid location can then be determined by using the maximum likelihood as a fusion strategy. The input images used in this paper are two pairs of SPOT stereo images and experiments show that heights of DEM are successfully fused

Key Words : Image Mosaic, Data Fusion, DEM extraction

요 약 : 본 논문에서는 SPOT 위성 영상을 사용하여 얻어진 수치 표고 모형을 결합하는 기법을 제안한다. 추출된 수치 표고 모형의 결과를 사용하여 위도와 경도로 이루어지는 격자를 생성한다. 생성된 격자 위치에서의 고도 값을 이미 획득된 수치 표고 모형으로부터 세 개의 가장 근접한 화소의 고도 값을 이용하는 삼각형 영상 워핑 방법을 사용하여 보간한다. 각 격자의 최종 고도 값은 최대 가능성 규칙의 융합 방법을 이용하여 결정한다. 본 논문에 사용된 영상은 두 쌍의 스테레오 SPOT 위성영상을 사용하였으며 실험결과 수치 표고 모형의 고도 값을 성공적으로 융합할 수 있었다.

1. 서 론

컴퓨터를 이용하여 만든 지도에는 수치 지형 모델(DTM : Digital Terrain Model)이 있으며 이는 지형 특성의 공간적 분포를 수치적으로 표현한 것으로 컴퓨터를 이용한 여러 가지 응용에 적합한

장점이 있다. 여기에서 사용되는 지형의 특성은 표고를 주로 사용하지만 표고 이외에도 토지의 가격, 소유주, 토질, 토지이용 등을 포함하기도 한다. 표고를 지형 특성으로 사용하는 경우를 수치 표고 모형(DEM : Digital Elevation Model)이라 하며 평균 해수면으로부터 지표면까지의 고도 정보를 갖

는다.

수치 표고 모형은 도시계획, 도로 건설 계획, 수해지역예측 등의 많은 분야에 활용되고 있다. 수치 표고 모형을 제작하는 방법은 기존의 지도로부터 스캐너를 사용하여 얻는 방법, 항공 사진 측량 방법 그리고 인공위성 영상을 이용하는 방법 등이 있다. 인공위성 영상을 이용하는 방법은 주기적으로 영상 자료를 얻을 수 있으며 자동으로 수치 표고 모형을 추출할 수 있다. SPOT 스테레오 위성 영상을 이용하여 하나의 수치 표고 모형을 추출하는 연구가 이미 수행되었다(Kim *et al.*, 1992). 그러나 한 쌍의 스테레오 영상을 이용하여 추출할 수 있는 지역은 한정되어 있다. 따라서 넓은 지역에 해당되는 수치 표고 모형을 제작하기 위해서는 여러 개의 수치 표고 모형을 조합해야 한다. 본 논문에서는 중첩된 여러 개의 수치 표고 모형을 융합하는 기법을 제안하였다.

Fig. 1은 수치 표고 모형 융합을 위한 전체적인 흐름도를 나타낸다. 각각의 stereo pair로부터 수치 표고 모형을 추출한후, 각 스테레오 영상이 관측

시점, 촬영 각도 등이 다르기 때문에 나타나는 영상 왜곡을 보정하기 위하여 수치 표고 모형을 추출 과정에서 획득한 위도와 경도 정보를 이용하여 직각 정규화를 수행한다. 직각 정규화를 수행한 후, 영상과 수치 표고 모형을 조합한 후에 중첩된 지역의 자료들을 융합하여 최종적인 수치 표고 모형을 제작한다.

2. 수치 표고 모형 추출

위성 영상을 이용하여 수치 표고 모형을 추출하는 방법은 입력 영상 취득, 카메라 모델링, 영상의 전처리, 스테레오 정합, 고도 정보 계산, 보간, 수치 표고 모형 취득의 단계로 이루어지며 각 단계는 다음과 같다(Ye *et al.*, 1998).

1) 카메라 모델링

위성의 위치와 자세를 추정하기 위해서 공선 조선식을 이용한다. 공선 조선식은 위성의 중심에

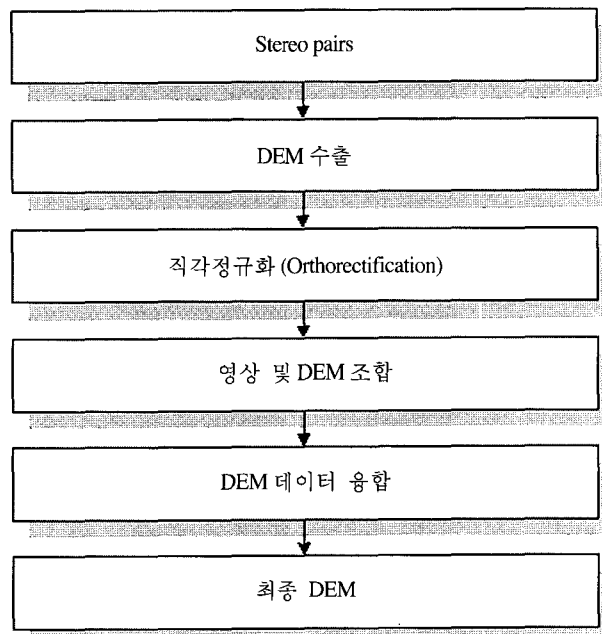


Fig. 1. Flow chart for the combination of DEMs

서 영상으로의 벡터가 위성의 중심에서 영상에 해당하는 지상점으로의 벡터와 일치하는 관계를 나타내며 주어진 지상 기준점(ground control point)으로부터 최소 자승법을 이용하여 위성의 위치와 자세를 결정한다(Kim et al., 1992).

2) 영상의 전처리

영상의 전처리는 정합 과정 전에 수행되며 두 영상의 공선을 일치시켜 주는 공선 변환(epipolar align transformation), 미정합이나 오정합을 감소시키기 위한 잡음 제거, 영상의 화질을 개선하는 과정 등이 있다.

3) 스테레오 정합

스테레오 정합은 두 영상간의 동일점을 찾아내는 과정이다. 본 논문에서 사용한 스테레오 정합 방법은 영역 기반 정합 방법으로 영상의 밝기값(gray level)을 이용하여 화소 대 화소를 정합하는 방법을 사용하였다(Kim et al., 1992).

4) 고도정보 계산 및 위도와 경도 정보 추출

스테레오 정합을 통해 영상에서 동일점을 찾은 후에 카메라의 외부 표정 요소를 이용하여 고도 정보를 계산한다. 두 장의 영상으로부터 정합 과정에서 찾아진 동일점과 각각의 위성 중심점을 연결한 두 직선은 이론적으로 한 점에서 교차한다. 그러나 실제로는 외부표정요소의 결정과 정합 위치 결정에서 발생하는 오차로 인하여 두 직선은 서로 교차하지 않으므로 두 직선의 최단 거리가 되는 직선의 중심을 지상의 위치로 결정하고 고도를 계산한다(Fig. 2).

정합을 통하여 얻어진 영상 좌표는 지심 직각 좌표계로 변환되며 두 직선의 최소거리 중심점을 지도 좌표계로 변환하여 경도 및 고도정보를 얻을 수 있다.

3. 수치 표고 모형의 조합

위성은 일정한 크기의 촬영 범위를 가지므로

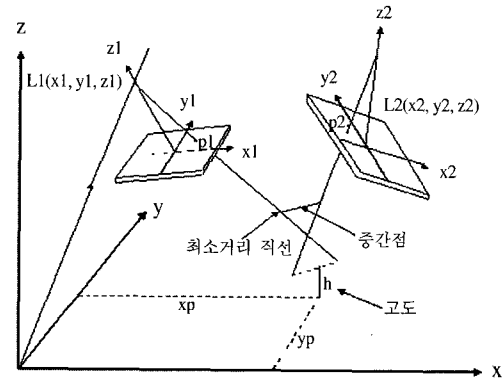


Fig. 2. Height calculation from the intersection of two lines

한 쌍의 스테레오 영상으로 추출할 수 있는 수치 표고 모형의 영역도 한정되어 있다. 10m 해상도를 가지는 6000×6000 판크로매틱(panchromatic) SPOT 위성 영상의 경우, 위성의 시야각을 고려할 때 최소 60km, 최대 80km의 지형을 포함할 수 있다. 위성 영상을 이용하여 한반도 등과 같이 넓은 지역의 수치 표고 모형을 제작하기 위해서는 여러 쌍의 스테레오 위성 영상으로부터 제작된 수치 표고 모형을 조합해야 한다. 본 논문에서는 여러 장의 중첩된 영상을 이용하여 넓은 영역의 영상을 만들기 위해서 영상의 왜곡을 보정하는 직각정규화, 영상 조합(image mosaic) 그리고 자료 융합(data fusion) 과정을 다음과 같이 수행한다(Dani and Chaudhuri,1995; Hansen et al., 1994).

1) 직각정규화(Orthorectification)

위성 영상의 지형학적인 왜곡을 화소 단위로 보정하는 것을 직각정규화라고 한다(Schowengerdt, 1997). 본 논문에서는 수치 표고 모형 추출 결과로 얻어진 위도와 경도를 일정한 간격으로 재배열하여 직각 정규화를 수행한다. 지구상의 모든 지점의 경도는 일정한 크기의 타원의 둘레 위에 존재하므로 경도를 기준으로 위도 간격은 어느 곳에서도 일정한 간격의 격자 크기를 가진다. 그러나 경도 간격은 위도에 따라 일정하지 않다. Fig. 3과 같이 지구상의 한 지점을 p라고 하고 p의 위도를 Φ , p와 적도면이 이루는 각을 θ , 지구의 적도 반

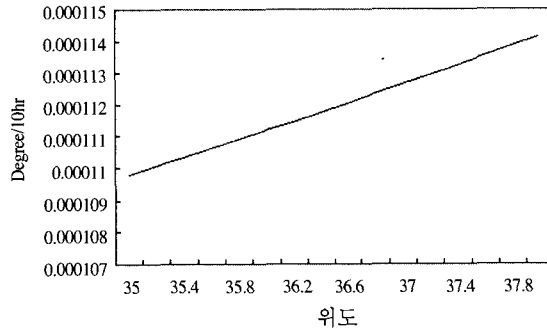
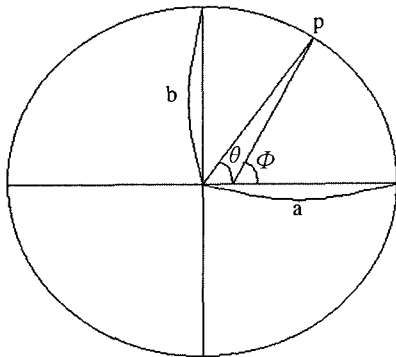


Fig. 3. Earth ellipsoid and variation in interval of longitude

지름을 a, 극 반지름을 b라고 할 경우, 각 위도에 해당하는 경도의 간격 길이 x는 식(1)과 같이 계산된다(Fig.3).

$$x = \frac{360 \times 10m \times \sqrt{a^2 \tan^2 \theta + b^2}}{2\pi ab}$$

$$\text{여기서 } \theta = \tan^{-1}\left(\frac{b^2}{a^2} \tan \Phi\right) \quad (1)$$

경도에 따른 위도 간격은 일정하므로 식(2)과 같이 정의된다. Fig. 3은 위도 35°~38°사이에서 위도 변화에 따른 경도 간격의 변화를 나타낸다.

$$y = \frac{360 \times 10}{2\pi b} \quad (2)$$

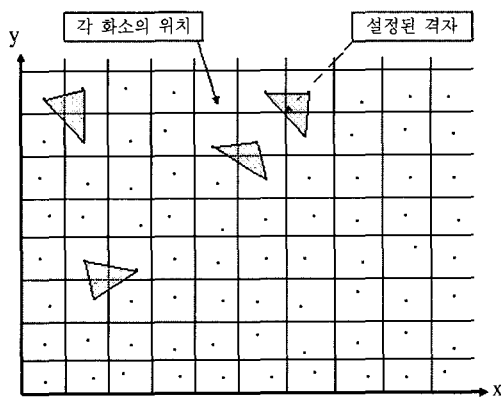


Fig. 4. Location of pixels on a grid of longitude and latitude

Fig. 4는 일정한 간격의 위도와 경도를 기준으로 각 화소의 위치를 나타낸다.

위도와 경도를 이용하여 설정된 정규 격자의 각 화소의 고도 값은 다음과 같은 삼각형 영상 워핑의 보간 방법을 통하여 얻는다(Fig. 5).

삼각형 영상 워핑의 보간 기법은 크게 두 단계로 구성된다. 첫번째 단계로 보간 하려는 격자점 주위에 삼각형을 구성하는 가장 가까운 3개의 화소를 찾는다. 3개의 화소를 찾기 위해 기준 화소를 중심으로 각 사분면에서 유클리디안 거리가 가장 가까운 화소를 찾은 후, 4개의 화소 중 삼각형을 이루면서 기준점을 포함하는 3개의 화소를 보간에 사용한다. 두번째 단계에서는 보간 대상이 되는 화소를 이미 구한 3개의 화소를 이용하여 보간을 수행한다. 일반적으로 2차원으로 표현되는

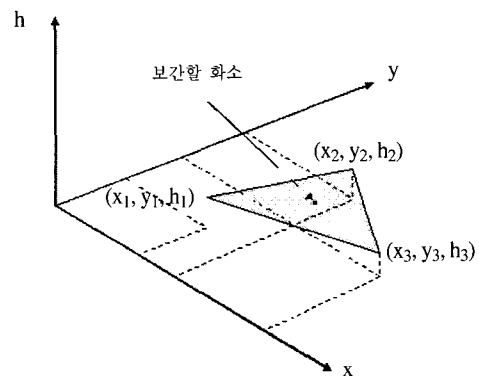


Fig. 5. Interpolation method of triangular image warping

영상 신호는 수평, 수직의 평면적 위치와 해당하는 위치에서 고도 값을 가지고 있으므로 2차원의 영상 신호를 3차원의 공간상에 표현할 수 있다. 3차원 공간상에서 주변의 세 화소를 각각 (x_1, y_1, h_1) , (x_2, y_2, h_2) , (x_3, y_3, h_3) 라 하면 이들로 이루어지는 평면은 식(4)와 같이 정의되고 A, B, C, D 는 식(5)와 같이 정의된다. 따라서 식(4)와 식(5)를 이용하여 평면내의 모든 화소에서 고도에 해당하는 z 성분을 계산할 수 있다.

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (4)$$

$$A = \begin{vmatrix} y_1 & h_1 & 1 \\ y_2 & h_2 & 1 \\ y_3 & h_3 & 1 \end{vmatrix}, B = - \begin{vmatrix} x_1 & h_1 & 1 \\ x_2 & h_2 & 1 \\ x_3 & h_3 & 1 \end{vmatrix},$$

$$C = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}, D = - \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix} \quad (5)$$

2) 영상 및 수치 표고 모형 조합

각 영상의 지형학적인 왜곡이 보상되면, 모든 영상을 하나의 영상으로 만드는 조합 과정이 수행된다. 여러 장의 영상을 이용하여 영상을 조합하

기 위하여 선행되어야 할 과정은 영상 등록(registration)이다. 영상 등록은 하나의 기준 영상에 대하여 각 대상 영상의 수평, 수직 변이와 회전 변이를 측정하는 것으로 기준 영상에 대하여 영상 등록을 마친 후, 각 영상에 대한 어파인 모델을 설정하여 영상 조합을 수행한다. 영상에서 지형이 서로 다르게 왜곡되어 획득되는 위성 영상에 일반적인 영상 조합 방법을 적용하기 위해서는 직각 정규화 과정이 수행된 영상을 이용하거나 위성의 "yaw"와 "pitch"를 고려한 2차이상의 어파인 모델을 설정하는 과정이 필요하다. 특히 두 장 이상의 위성 영상을 이용하여 조합하는 경우, 여러 장의 영상 중 하나의 영상을 기준으로 설정하여 영상 등록을 수행하고 기준 영상 이외의 다른 영상과의 영상 등록 관계를 고려해야 한다. 본 논문에서는 직각 정규화 과정에서 설정된 정규 배열 격자를 기준으로 같은 위도와 경도를 가지는 자료를 같은 배열 격자 위에 위치시키는 방법을 사용하였다.

Fig. 6은 정규 배열 격자를 이용한 영상 조합 과정의 전체적인 흐름도이다. 각 영상의 위도, 경

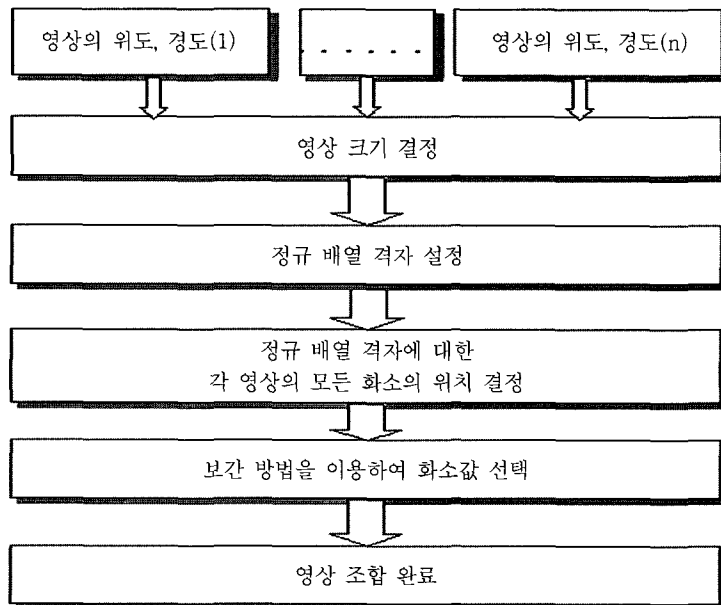


Fig. 6. Flow chart for the image mosaic

도 정보를 이용하여 설정된 정규 배열 격자에 대응하는 각 영상의 모든 화소의 위치를 결정한 후 삼각형 영상 워핑의 보간 방법을 이용하여 각 격자의 고도 값을 계산하면 영상과 수치 표고 모형의 조합이 완료된다. 본 논문에서 사용한 방법은 직각 정규화 과정과 조합 과정 모두 위도, 경도 정보를 이용하므로 직각 정규화 과정과 영상 조합 과정은 동시에 수행된다. 따라서 전체적인 수행시간이 감소되며 영상 등록을 위한 기준 영상을 설정할 필요가 없는 장점이 있다.

3) 최대 가능성 규칙을 이용한 자료 융합

중첩된 지역의 여러 개의 고도 값을 이용하여 해당 화소의 고도 정보를 획득하기 위해 자료 융합을 수행한다. 일반적으로 많이 사용되는 자료 융합 방법에는 최대 가능성(maximum likelihood) 규칙을 이용하는 방법, 가중치를 이용하여 가산하는 방법, 베이지안(Baysian) 확률이론을 이용하는 방법 등이 있다(Hackett and Shah, 1990). 본 논문에서는 최대 가능성 규칙을 사용하는 방법을 사용하여 수치 표고 모형의 고도 정보를 융합한다.

중첩된 지역의 수치 표고 모형의 고도 정보를 $\mathbf{H}=(h_0, h_1, h_2, \dots, h_{n-1})$ 라 하고, 구하고자하는 고도를 Θ 라고 가정한다. 그리고 수치 표고 모형 추출 결과가 가우시안 밀도 함수의 형태를 따른다고 가정하면 최대 가능성 함수 $L(\Theta)$ 는 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$L(\Theta) = \sum_{i=0}^{n-1} \log p(H_i | \Theta) \\ = \sum_{i=0}^{n-1} \left(-\frac{1}{2} \log[(2\pi)^n |C_1|] - \frac{1}{2} (H_i - \Theta)^t (C_1)^{-1} (H_i - \Theta) \right) \quad (6)$$

Θ 의 최적의 해 $\tilde{\Theta}$ 를 얻기 위하여 L 를 Θ 에 대하여 미분하여 Θ 의 최적의 해를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\tilde{\Theta} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} C_1^{-1} H_i}{\sum_{i=0}^{n-1} C_1^{-1}} \quad (7)$$

식 (7)에서 C 는 고도의 분산이다. 최대 가능성 규칙을 이용하는 방법은 식(7)과 같이 추출된 고도의 분산의 역수를 가중치로 한 평균법이다.

4. 실험 결과

본 논문에서는 두 쌍의 6000×6000 SPOT 스테레오 위성 영상의 일부분을 실험 영상으로 사용하였다. 두 쌍의 SPOT 위성 영상에서 중첩된 지역을 가지도록 영상을 추출하였다. Table 1은 각 위성 영상쌍의 시야각과 카메라 모델링에 사용된 지상 기준점 개수를 나타내며, Table 2는 각 실험 영상 쌍의 수치 표고 모형 추출 결과 정합율을 나타낸다. Table 2에서 각 실험 지역을 구분하기 위하여 알파벳은 수치 표고 모형 추출에 사용된 위성 영상 쌍의 종류(A, B)를 의미하고 숫자는 실험 지역의 종류를 나타낸다. Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9 그리고 Fig. 10은 본 논문에서 사용한 실험 지역의 좌측 영상과 수치 표고 모형을 50m 단위로 표시한 격자 지도(grid map)이다.

본 논문에서는 조합 결과의 정확도를 보기 위해 식 (8)로 주어지는 RMSE를 사용하여 겹친 부분에 대한 고도 정보의 상대적인 오차를 계산하였다. 그리고 각각의 조합 결과를 50m 단위의 격자 지도를 제작하였다.

$$RMSE = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^N \sqrt{(h_{img1} - h_{img2})^2}, \quad (8)$$

(N: 겹친 부분의 영상 개수)

1) 유성 지역

Fig. 11은 위도, 경도 정보를 이용하여 3장의 유

Table 1. The view angle of each SPOT image pair

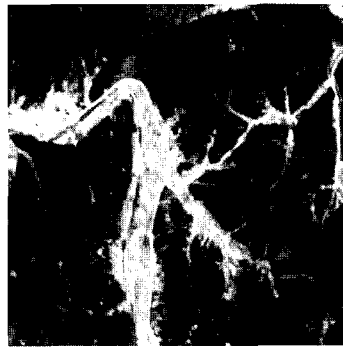
위성 영상쌍 A			위성 영상쌍 B		
좌측 영상	우측 영상	GCP	좌측 영상	우측 영상	GCP
5.6°	26.2°	30	22.7°	8.6°	13

Table 2. DEM extraction results of test region

유 성	정합율	유성지역A1	유성지역B2	유성지역A3	
		97.0%	96.7%	97.7%	
평 촌	정합율	평촌지역A1	평촌지역B2	평촌지역A3	평촌지역B4
		96.1%	95.1%	98.5%	93.8%



(a) A1



(b) B2



(C) A3

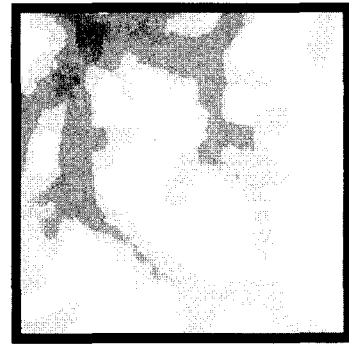
Fig. 7. Sample Images of Yu-Sung Area



(a) A1



(b) B2



(C) A3

Fig. 8. DEM grid maps of Yu-Sung area

성 지역을 조합한 결과이다. Fig. 12는 유성 지역에 대한 조합과 융합 결과를 나타낸 격자 지도이다. Table 3은 겹친 지역에 대한 고도의 상대적인

에러를 식 (8)을 이용하여 계산한 RMSE 값이다. Fig. 13은 최종적으로 얻어진 수치 표고 모형 자료 융합 결과의 3차원 표현이다.

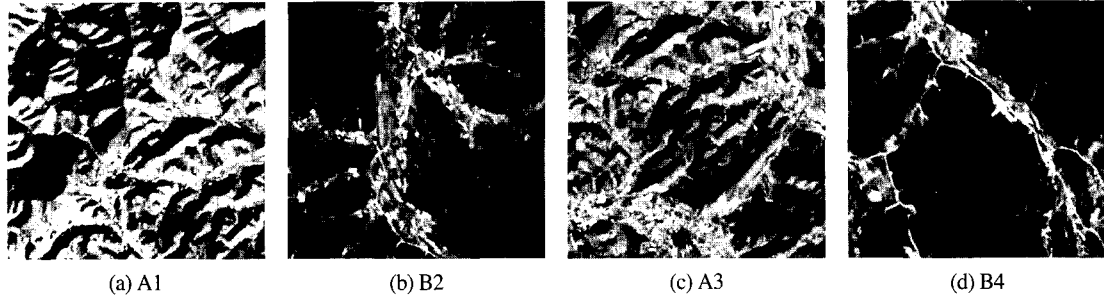


Fig. 9. Sample Images of Pyung-Chon area

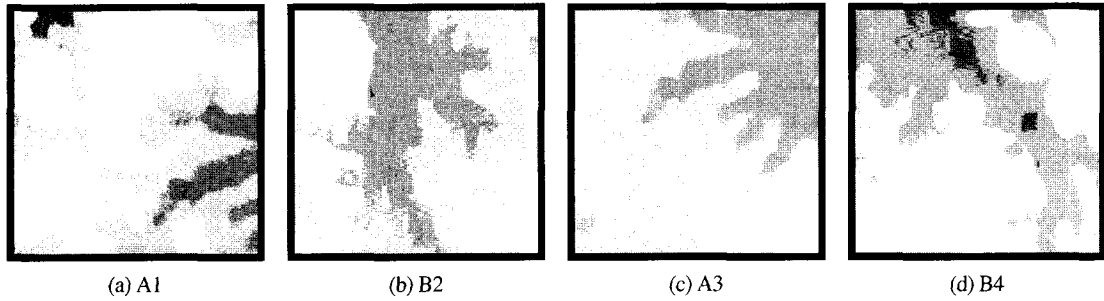


Fig. 10. DEM grid maps of Pyung-Chon area



Fig. 11. Mosaic result of Yu-sung area



Fig. 12. DEM grid map of Yu-sung area

Table 3. Relative RMSE of each DEM(Yu-sung) [m]

	A1	A3
B2	17.39	20.21

2) 평촌 지역

Fig. 14는 4장의 평촌 지역의 영상을 위도와 경도 정보를 이용하여 조합 결과이다. Fig. 15는 조합 및 융합 결과를 50m 단위의 격자지도로 나타낸 것이다. Table 4는 각 겹친 지역에 대한 고도의 상대적인 에러를 RMSE로 나타낸 것이다. 같은 종류의 위성 영상을 기준 영상으로 사용하여 수치



Fig. 13. 3D description of the fusion result

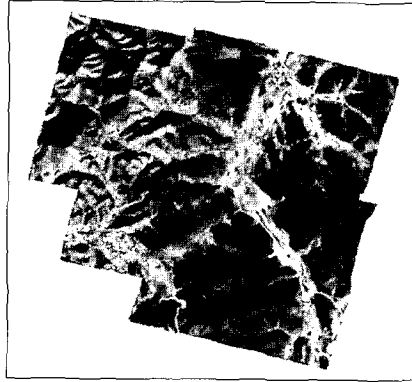


Fig. 14. Mosaic result of Pyung-Chon area

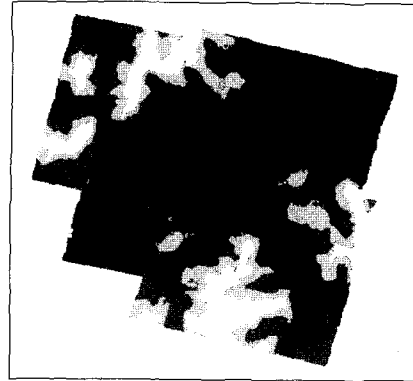


Fig. 15. DEM grid map of Pyung-Chon area

Table 4. Relative RMSE of each DEM(Pyung-Chon) [m]

	B2	A3	B4
A1	22.70m	0.99m	19.54m
B2		20.70m	1.18m
A3			22.13m

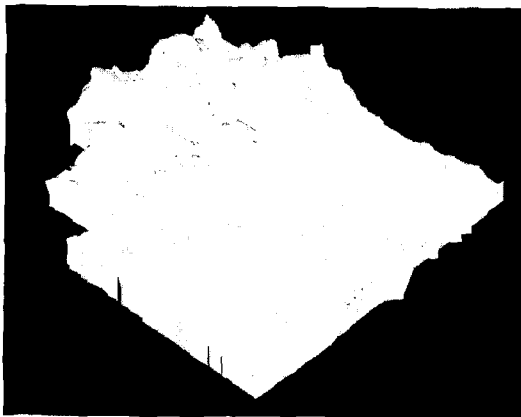


Fig. 16. 3D description of the fusion result

표고 모형을 얻은 1A, 3A 지역과 2B, 4B 지역의 RMSE가 각각 0.99m, 1.18m로 오차가 매우 작은 것을 알 수 있다. Fig. 16은 최종적으로 얻어진 수치 표고 모형 자료 융합 결과의 3차원 표현이다.

Table 4로부터 같은 위성 쌍으로부터 획득된 수치 표고 모형의 RMSE는 비교적 작은 반면, 다른 위성 영상 쌍들 사이의 RMSE는 비교적 크다는 사실을 알 수 있다. 이것은 위성 영상 쌍 A의 경우 30개의 지상 기준점이 전체 영상에 골고루 분

포되어 있는 반면, 위성 영상 쌍 B의 경우 13개의 지상 기준점의 분포가 한쪽으로 편중되어 수치 표고 모형의 정확도가 서로 다르기 때문에 발생하는 현상이다. 따라서 좁은 지역의 수치 표고 모형의 추출 결과가 정확하다면 보다 정확한 광역 수치 표고 모형을 추출할 수 있다.

5. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 위성 영상으로부터 생성된 여러 개의 수치 표고 모형을 결합하는 새로운 기법을 제안한다. 수치 표고 모형 추출 과정에서 획득한 위도, 경도 정보를 이용하여 영상의 지형학적인 왜곡을 보상에 주는 직각 정규화 과정과 영상 조합 과정을 동시에 수행하는 알고리즘을 제안하였다. 영상 조합 후, 겹친 부분의 여러 개의 고도 정보로부터 최종 고도 정보를 계산하기 위하여 최대 가능성 규칙을 이용하여 자료를 융합하였다. 실험 결과 여러 장의 좁은 지역의 수치 표고 모형을 이용하여 광역 수치 표고 모형을 제작할 수 있었다. 정확한 GCP 획득에 의한 본 알고리즘의 정량적인 분석이 추후 수행되어야 할 것이다.

참고 문헌

Ye Chul-Soo, B. M. Jeon, and K. H. Lee, 1998, A

- method on digital Elevation model extraction using satellite images. *Proc. of International Symposium on Remote Sensing*, Kwangju, Korea, Sep. 16-18, 342-348.
- Dani, P and S. Chaudhuri, 1995. Automated assembling of images : Image montage preparation, *Pattern Recognition*, 28(3): 431-445.
- Hackett J. K., and M. Shah, 1990. Multi-sensor fusion: A perspective. *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Tokyo, Japan, Nov. 28-30, 1324-1330.
- Hansen, M., P. Anandan, K. Dana and P. Burt, 1994. Real-time scene stabilization and mosaic construction. *Proc. of Image Understanding Workshop*, California, Nov. 1994, vol. 1, 457-465.
- Jeong-Kee Kim, C. H. Park, and K. H. Lee, 1992. Automatic Digital Elevation Model Extraction using SPOT Satellite Image. *Proc. of IAPR Workshop on Machine Vision Applications*, Tokyo, Japan, Dec. 7-9, 633-638.
- Schowengerdt, R. A., 1997. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*, Academic Press.