

정사영상과 DTED Level 2 자료에서 자동 추출한 지상기준점의 IKONOS 위성영상 모델링 적용 가능성 연구

Application Possibility of Control Points Extracted from Ortho Images and DTED Level 2 for High Resolution Satellite Sensor Modeling

이태윤* · 김태정** · 박완용***

Lee, Tae Yoon · Kim, Tae Jung · Park, Wan Yong

要 旨

고해상도 위성영상으로부터 수치지고도자료와 정사영상을 생성하기 위해서는 센서모델을 수립해야 한다. 센서모델 수립에 필요한 지상기준점은 실측을 통해서 획득할 수 있지만, 이를 위해서는 많은 시간과 비용이 소요된다. 본 연구에서는 기존의 정사영상과 위성영상 간의 정합을 통해서 얻은 지상좌표와 그에 대응하는 높이를 Digital Terrain Elevation(DTED) Level 2 자료로부터 추출하여 IKONOS 위성영상 센서모델을 수립하기 위한 기준점을 획득하였다. 획득한 기준점으로 IKONOS 센서 모델을 수립하고 그 결과를 분석하여 이로부터 추출한 기준점이 IKONOS 위성영상의 센서모델 수립에 적합한지 여부를 알아보았다. 본 연구를 위해서 사용된 DTED Level 2는 공간해상도가 약 30m이고, 절대 수평 정확도는 원형오차로 23m(WGS84 기준)이하이고 절대 수직 정확도가 평균해수면 기준으로 18m 이하인 수치지고도모델이다. 정합에 사용된 기존 정사영상의 공간해상도는 1m이다. 본 연구에서는 DTED와 정사영상을 이용해서 추출한 기준점으로 수립한 IKONOS 센서모델의 성능을 분석하였다. 실측 기준점을 검사점으로 했을 때 수립된 모델의 독립적 성능은 약 4~5 픽셀 정도였다. 또한 수치지고도모델을 생성하고 이를 실측 기준점으로 생성한 수치지고도모델과 육안으로 비교했을 때 서로 유사함을 알 수 있었으며, DTED 자료를 기준으로 산출한 높이 RMS 오차는 약 9 m였다. 이 결과로 보아 DTED Level 2와 정사영상을 이용해서 추출한 기준점이 IKONOS 센서 모델 수립에 적용될 수 있음을 알 수 있었다.

핵심용어 : 자동 기준점 추출, DTED, 센서모델, 고해상도 영상

Abstract

Ortho images and Digital Elevation Model (DEM) have been applied in various fields. It is necessary to acquire Ground Control Points (GCPs) for processing high resolution satellite images. However surveying GCPs require many time and expense. This study was performed to investigate whether GCPs automatically extracted from ortho images and DTED Level 2 can be applied to sensor modeling for high resolution satellite images. We analyzed the performance of the sensor model established by GCPs extracted automatically. We acquired GCPs by matching satellite image against ortho images. We included the height acquired from DTED Level 2 data in these GCPs. The spatial resolution of the DTED Level 2 data is about 30m. Absolution accuracy of this data is below 18m above MSL. The spatial resolution of ortho image is 1m. We established sensor model from IKONOS images using GCPs extracted automatically and generated DEMs from the images. The accuracy of sensor modeling is about 4-5 pixel. We also established sensor models using GCPs acquired based on GPS surveying and generated DEMs. Two DEMs were similar. The RMSE of height from the DEM by automatic GCPs and DTED Level 2 is about 9 m. So we think that GCPs by DTED Level 2 and ortho image can use for IKONOS sensor modeling.

Keywords : Automatic Extraction of Control Points, DTED, Sensor model, High resolution images

2007년 11월 12일 접수, 2007년 12월 17일 채택

* 인하대학교 지리정보공학과 박사과정 (LTaeYoon@inha.ac.kr)

** 교신저자·정회원·인하대학교 지리정보공학과 부교수 (tejid@inha.ac.kr)

*** 국방과학연구소, 선임연구원 (wypark@add.re.kr)

1. 서 론

최근 3차원 지도와 3차원 도심 모델의 활용성이 증가하면서 높은 공간 해상도를 갖는 수치고도모델과 정사영상이 요구되고 있다. 따라서 기존의 공간해상도가 낮은 수치고도모델과 정사영상을 고해상도의 데이터로 갱신할 필요성이 생겨났다. QUICKBIRD, IKONOS 등과 같은 고해상도 위성영상을 이용하여 수치고도모델과 정사영상을 생성하기 위해서는 지상기준점을 이용하여 위성영상의 센서모델을 수립해야 한다. 센서 모델 수립에 필요한 지상기준점을 실제로 측량하기 위해서는 많은 비용과 시간이 소요된다.

이와 관련하여 자동으로 지상기준점을 추출하기 위한 연구들이 수행되어 왔다. 관련 연구로는 기존 해안선 데이터베이스를 이용한 정지궤도 기상위성영상의 자동 기하보정에 관한 연구(김현숙 등, 2007; 이태운 등, 2005), NOAA의 AVHRR 영상에 대해서 디지털 지도를 이용한 자동 기준점 추출 연구(Nakano et al., 2004), 15m 해상도의 Landsat-7 영상에서 취득한 기준점 칩을 6.7m 해상도 영상인 KOMPSAT-1 영상에 적용하여 수행한 자동 기하보정에 대한 연구(Lim, et al., 2004), 기존에 구축된 기준점 칩을 새로운 SPOT 영상에 적용하고 RANSAC을 이용하여 자동으로 기준점을 추출하는 연구(Kim and Im, 2003), 변형된 Moravec 특징점 추출 알고리즘을 적용하여 기준점을 추출하는 연구(U.S. Geological Survey, 1998) 등이 있다. 이와 같은 연구들은 기준점을 자동으로 추출하는 방법에 초점이 맞추어져 있다.

본 연구는 DTED Level 2 자료로부터 획득한 높이값과 정사영상과의 정합으로부터 획득한 지상좌표(X, Y)로 이루어진 기준점이 IKONOS 위성영상의 센서모델을 수립하는데 적합한지 여부를 알기 위한 목적으로 수행되었다. 정사영상과 IKONOS 위성영상 간의 정합을 통해서 위성영상 픽셀에 해당하는 지상좌표(X, Y)를 얻을 수 있다. 센서모델 수립 시 지상좌표(X, Y) 만을 사용하면 지표면의 높이에 따른 오차가 발생한다. 이를 해결하기 위해서 DTED Level 2 자료의 높이값을 적용하였다. 하지만 DTED Level 2 자료는 약 30m의 공간 해상도를 갖고 있으며, 규격 상 요구 되어진 절대 수평 정확도가 90% 원형 오차에서 23m 이하이고 절대 수직정확도가 90% 선형 오차에서 18m 이하이다(NIMA, 2000). 수평정확도는 WGS84를 기준으로 하고, 수직 정확도는 평균해수면을 기준으로 한다. 따라서 기존 정사영상과 DTED Level 2 자료에서 추출한 기준점은 DTED Level 2 자료의 공간 정확도인 수직오차 18m의 범위에 있다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 이렇게 추출된 기준점이 IKONOS 영상

의 센서모델 수립에 적합한지 여부를 알아보기 위해서 추출한 기준점으로 센서모델을 수립하고 GPS 현지 측량을 통해서 얻은 실측 지상기준점을 검사점으로 하여 수립된 모델의 성능을 분석해 보았다. 또한 자동으로 추출한 지상기준점과 실측에 의한 지상기준점으로부터 각각 DEM을 제작하여 두 DEM을 비교하여 보았다.

2. 사용한 센서모델

본 연구에서 IKONOS 위성영상 센서모델 수립을 위해서 사용한 센서모델은 Direct Linear Transform(DLT)이다. IKONOS 위성영상은 RPC 계수를 이용하여 RFM 모델을 수립할 수 있으나 기준점을 이용한 계수 조정을 원활히 하기 위해 보다 간단한 모델인 DLT 모델을 사용하였다(임용조와 김태정, 2002). 적용한 DLT는 다음 수식과 같다(이태운 등, 2005).

$$\begin{bmatrix} wc \\ wr \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

위 식에서 (c, r)은 영상좌표, w는 스케일 요소이고 (X, Y, Z)는 지상좌표를 나타낸다. m_{ij} 는 변환행렬의 행렬 요소이며, 모델 수립 시, 추정해야 되는 계수이다. 추정해야 되는 계수가 11개 이므로, 최소 기준점의 개수는 6개가 된다.

3. 연구방법

3.1 사용된 데이터

본 연구에서는 IKONOS 스테레오 위성영상을 이용하였다. 다음 그림은 사용된 IKONOS 위성영상과 실측 기

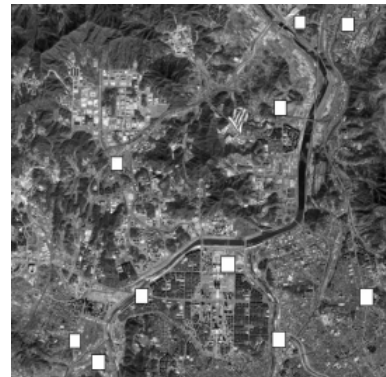


그림 1. IKONOS 영상과 실측 기준점 분포

표 1. 사용된 DTED의 기본 사항

DTED Level	2
격자 간격	1초 × 1초
절대 수평정확도	90% 원형오차(Circular Error) WGS84 기준 ≤ 23m
절대 수직정확도	90% 선형오차(Linear Error) 평균해수면 기준 ≤ 18m

기준점의 분포를 보여주고 있다. 사각형(그림 1)이 있는 곳이 GPS 측량으로 획득한 지상기준점의 위치를 나타낸다. 사용된 영상은 2002년 2월에 대전을 촬영한 영상이다.

본 연구에서 사용된 DTED의 기본사항은 다음 표 1과 같다(NIMA, 2000). DTED는 레벨에 따라서 격자 간격이 다르다. 표 1에서 알 수 있듯이 본 연구에서는 DTED Level 2를 사용했으며, 이 데이터의 격자 간격은 1초 x 1초로 약 30m의 공간 해상도를 갖는다.

위 표에서 알 수 있듯이 사용된 DTED는 절대 수직정확도가 평균해수면 기준으로 18m 이하로 생성된 것이다. 이 데이터는 대전 지역에 대한 데이터이다.

IKONOS 영상과의 자동 정합으로 기준점의 지상 좌표를 얻기 위해서 사용된 정사영상은 DTED Level 2 자료를 이용해서 평균해수면에 대해 정보보정을 수행한 영상이다. 이 데이터의 공간 해상도는 1m이다. 이 정사영상은 90%의 CMAS(Circular Map Accuracy Standard) WGS84 기준으로 25m 이하의 수평정확도를 갖도록 정해진 규격에서 생성된 것이다.

3.2 기준점 추출 방법

다음 그림 2는 본 논문에서 적용한 기준점 추출 알고리

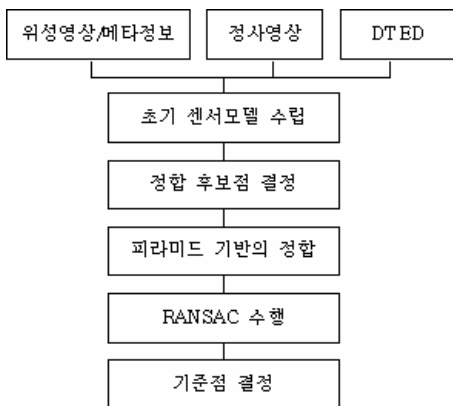


그림 2. 자동 기준점 추출 과정

즘의 전체적인 모습을 보여주고 있다.

그림 2에서 볼 수 있듯이 기존의 정사영상과 위성영상 간의 정합을 수행하기 전에 위성영상의 메타 정보를 이용해서 초기 센서모델을 수립한다. 본 논문에서는 IKONOS의 초기 센서모델을 수립하기 위해서 메타 정보에 있는 위성영상 네 모퉁이의 경위도 좌표를 이용하였다.

초기 센서모델은 정합을 효율적으로 수행하기 위해서 위성영상의 정합 후보점과 대응하는 점을 정사영상에서 찾기 위해서 사용된다. 하지만, 초기 센서모델은 오차를 갖고 있기 때문에 정사영상에서 찾은 후보점을 중심으로 오차의 크기를 반영하여 정합을 수행하기 위한 검색 영역을 결정해야만 한다. 본 논문에서는 실험적인 방법에 의해서 IKONOS의 초기 센서모델 오차가 512 x 512 크기 이내에 존재한다고 결정하였다.

기준점 추출을 위한 자동 정합을 수행할 때 정합 후보점을 결정해야 한다. 실험에서 정합 후보점으로는 위성영상의 크기를 고려해서 일정한 간격의 위성영상 좌표를 선택하였다. 선택한 위성영상 좌표를 중심으로 512 x 512 크기를 추출하여 정합에 이용하였다.

정합 후보점과 정합 검색 영역을 이용하여 정합을 수행할 때, 본 연구에서는 피라미드 영상에 기반한 정합 방식을 적용하였다. 피라미드 영상은 정합에 사용될 영상의 크기를 줄이면서 해상도를 순차적으로 낮춘 영상이다. 피라미드 영상에는 해상도와 크기에 따른 몇 개의 레벨이 존재한다. 본 연구에서는 5개의 레벨을 갖는 피라미드 영상 칩을 만들어서 정합에 적용하였다.

위성영상 칩과 정사영상 칩간의 정합 방법은 정규 교차상관 정합(zero mean normalized cross-correlation) 알고리즘으로 다음과 같다(이태운 등, 2005).

$$\frac{\sum(LR) - (\sum L \sum R) / n}{\sqrt{(\sum(L)^2 - (\sum L)^2 / n)(\sum(R)^2 - (\sum R)^2 / n)}} \quad (2)$$

위 수식에서 L은 위성영상에서 정합할 부분의 픽셀 밝기값, R은 정사영상 칩의 픽셀 밝기값을 나타낸다. n은 L과 R 픽셀 개수이다.

IKONOS 위성영상에서 기준점을 추출하기 위한 정합 수행 시, 추출한 위성영상 칩과 정사영상 칩은 다음과 같다(그림 3).

그림 3에서 왼쪽 영상은 위성영상에서 추출한 정합 지점이고 오른쪽 영상은 정사영상에서 추출한 정합 검색 영역 부분이다. 정합은 24 x 24 크기의 정합 영역(그림 3의 왼쪽 영상)을 생성한다. 그리고 이를 512 x 512 크기의 정사영상 칩(그림 3의 오른쪽 영상)에 대해서 상관계수를 계산한다. 상관계수가 가장 클 때의 정사영상 픽셀

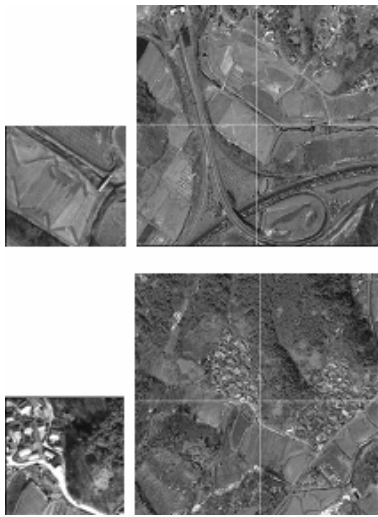


그림 3. 정합에 사용된 IKONOS 위성영상 칩과 정사영상 칩

위치를 추출하고, 이와 대응되는 지상좌표를 정사영상으로부터 결정한다. 정합을 수행한 후 결정된 정합점은 위성영상의 픽셀 좌표와 이에 대응하는 지상좌표로 이루어져 있다. 정합 결과에는 잘못 정합된 결과가 포함되어 있다. 본 연구에서 사용된 정사영상과 IKONOS 영상은 동일한 해상도를 갖고 있지만 영상을 획득한 시기의 차이로 일부 지역의 형태가 달라져 있어서 잘못된 정합 결과가 생기게 된다. 또한 영상의 픽셀 값이 균일한 지역이나 그림자에 영향을 받은 지역, 산지 등에서는 잘못된 정합 결과가 생길 수 있다. 본 연구에서는 정합결과로부터 제대로 정합된 정합점을 판별하기 위해서 RANSAC을 적용하였다.

3.3 RANSAC

RANSAC(Fischler and Bolles, 1981)은 대표적인 강인 추정 기법 중에 하나이다. 이 추정기법은 주어진 기준점에서 모델의 계수를 추정하는데 필요한 최소한의 기준점을 무작위로 선택하고 이를 이용하여 모델 계수를 추정한다. 이로서 수립된 모델을 이용하여 모델 추정을 위해서 선택되지 않은 나머지 기준점에 대한 잔차(Residual)를 계산한다. 계산된 잔차가 주어진 임계값(Threshold value)보다 크면 Outliers로 결정하고, 그렇지 않으면 Inliers로 결정한다. 그리고 Inliers의 총 개수를 세어둔다. 이와 같은 과정을 반복적으로 수행하여, Inliers의 총 개수가 가장 많을 때의 모델을 최종 모델로 결정한다. 본 논문에서 Outliers는 잘못 정합된 정합결과가 되고 Inliers는 제대로 정합된 결과가 된다. 이 방법은 GCP 칩과 위성영상과의 정합,

기상위성영상과 해안선 자료의 정합 결과로부터 오정합을 걸러내고 자동 기준점을 추출하는데 성공적으로 사용된 바 있다(김현숙 등, 2007; 이태윤 등, 2005, Kim and Im, 2003).

본 연구에서는 RANSAC에서 모델 수립 시 정합된 지점의 위성영상 픽셀 좌표와 정사영상의 지상좌표, 그리고 이에 대응하는 DTED의 높이값을 적용하였다.

RANSAC은 반복적인 과정을 수행하므로, 최대반복 횟수를 결정해 주어야 한다. 본 논문에서 최대 반복횟수를 실험적인 방법에 의해서 5000번으로 결정하였다. 오차의 임계값은 5, 10, 20 픽셀 각각의 값을 적용하여 Inliers를 추출하였다. 추출된 Inliers가 위성영상의 모델 수립에 적용할 기준점이 된다.

다음 그림 4는 정합결과로부터 RANSAC이 제대로 정합된 결과라고 판별한 정합점 칩을 보여주고 있다. 그림 4에서 왼쪽 영상은 위성영상의 정합 영역이고 오른쪽 영상은 정사영상으로부터 정합된 지점을 정합 영역과 동일한 크기로 추출한 영상이다. 이 그림에서 왼쪽과 오른쪽 영상을 비교해보면, 위성영상 칩과 정사영상 칩이 동일한 지점을 가리키고 있는 것으로 보아 성공적으로 기준점이 추출되었음을 알 수 있다. 그러나 RANSAC 수행 시 Inliers/Outliers 구분에 사용되는 좌표값을 DTED Level 2 자료에서 얻게 되므로 이에 따른 높이 오차 때문에 잘못된 기준점도 추출되는 것으로 나타났다.

다음 표 2는 왼쪽 영상의 정합 결과에서 RANSAC으로 판별한 Inliers의 개수와 이들 중 육안으로 확인했을 때 판별된 잘못된 기준점(오정합)의 개수를 보여주고 있다.

표를 보면, RANSAC이 판별한 Inliers 중에는 11~50 개 정도의 잘못된 정합 결과가 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 앞서 언급된 것과 같이 RANSAC의 적용 결과에서

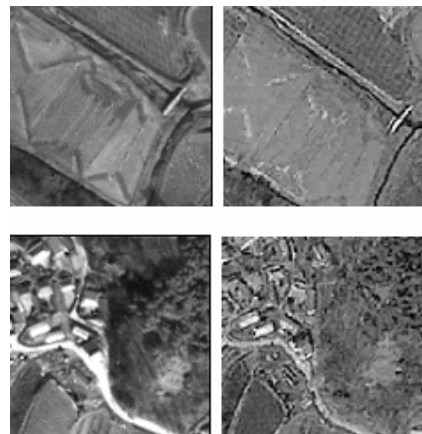


그림 4. IKONOS 영상-정사영상 정합에서 Inliers

표 2. 왼쪽 영상에서 Inliers 판별 결과

RANSAC 임계값	Inliers 개수	Inliers 중에서 오정합 개수
5	31	11
10	58	18
20	115	50

잘못 판별한 결과가 나타나는 것은 DTED와 정사영상을 이용해서 추출한 기준점의 정확도가 떨어짐에 따라서 정확한 모델 수립이 어렵기 때문에 RANSAC에서도 잘못된 결과가 나타난 것으로 생각된다.

4. 연구결과

4.1 센서모델 수립 결과

다음 표 3은 추출한 Inliers를 기준점으로 하여 각 위성 영상에 대해서 수립한 센서모델의 성능을 보여주고 있다.

표에서 모델링 성능은 모델 수립에 사용된 기준점 RMS 오차이다. 독립적 성능은 수립된 모델로 검사점의 RMS 오차를 계산한 결과이다.

독립적 성능을 위한 검사점은 실측을 통해서 획득한 지상기준점 10개를 사용하였다. 본 논문의 목적은 정사영상과 DTED Level 2로부터 자동 추출한 기준점이 고해상도 위성영상의 센서모델 수립에 적합한지 여부를 알아보고자 하는 것이다. RANSAC으로 판별한 기준점에 에러가 포함된 것으로 판단되었으므로 센서모델 수립 시 추출된 기준점 중에서 모델링 오차가 1.5 픽셀 이상인 기준점은 걸러내고 모델을 재 수립하여 모델의 독립적 성능을 알아보았다. 표에서 제거된 점의 개수는 이렇게 걸러

낸 기준점의 개수를 나타낸다.

표 3에 알 수 있듯이 자동으로 추출한 기준점 중에서 초기 모델링 오차가 1.5 픽셀 이상인 기준점을 제거하여 재 모델링 했을 때의 모델링 정확도는 약 0.8~1.5 픽셀 정도였다. 10개의 실측 기준점을 검사점으로 사용했을 때 독립적 성능 결과는 20 픽셀의 오차 임계값으로 RANSAC을 수행하여 얻은 결과에서는 왼쪽 영상에서 5.1 픽셀, 오른쪽 영상에서 4.0 픽셀 정도의 정확도를 보여주고 있다.

위 결과를 통해서 IKONOS 위성영상의 경우에 DTED Level 2와 정사영상을 이용하여 추출한 기준점의 정확도가 실측 기준점의 정확도에 비해서 4~5 픽셀 정도 낮음을 알 수 있다.

4.2 수치고도모델 생성 결과

다음 그림 5는 실측을 통해서 얻은 기준점으로 생성한 수치고도모델이다. 그림 6은 DTED Level 2 자료와 정사영상을 이용하여 추출한 기준점으로 생성한 수치고도모델이다. 본 연구에서는 수치고도모델 생성 시 최근린(Nearest Neighbor) 보간법을 적용하였다.

다음 표 4는 그림 5, 6의 수치고도모델을 생성할 때 수립된 모델의 모델링 성능을 보여주고 있다. 표를 보면, 자동 추출된 기준점의 모델링 성능이 실측 기준점의 모델링 성능과 유사함을 알 수 있다.

위 그림 5와 6을 육안으로 비교했을 때 전체적인 형태와 높이값 분포 등이 유사한 것으로 보여진다.

다음 표 5는 DTED Level 2 자료의 높이값을 참값이라고 가정했을 때, 실측 기준점으로 생성한 수치고도모델의 높이 RMS 오차와 자동 기준점으로 생성한 수치고도모델의 높이 RMS 오차를 보여주고 있다.

위 표에서 RMS 오차는 Hole 부분 등은 제외한 수치고

표 3. IKONOS 위성영상에서 추출된 기준점으로 수립된 모델의 성능

RANSAC 임계값	IKONOS 왼쪽 영상					IKONOS 오른쪽 영상				
	모델링에 사용된 기준점 수	검사점 수	모델링 성능 (RMSE, 픽셀)	독립적 성능 (RMSE, 픽셀)	제거된 점의 개수	모델링에 사용된 기준점 수	검사점 수	모델링 성능 (RMSE, 픽셀)	독립적 성능 (RMSE, 픽셀)	제거된 점의 개수
5	13	-	0.9	-	18	25	-	0.9	-	21
	13	10	-	7.4	18	25	10	-	4.7	21
10	12	-	0.9	-	46	25	-	0.9	-	64
	12	10	-	7.0	46	25	10	-	4.4	64
20	19	-	1.5	-	96	25	-	0.8	-	95
	19	10	-	5.1	96	25	10	-	4.0	95

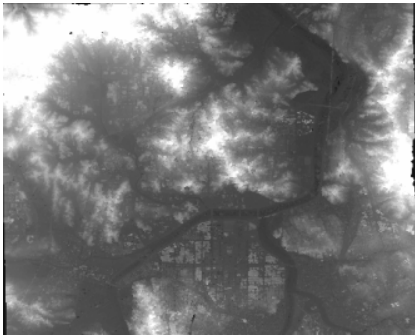


그림 5. 실측 기준점으로 생성한 수치고도모델

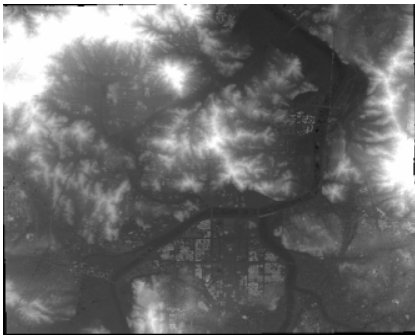


그림 6. 자동기준점으로 생성한 수치고도모델

표 4. DEM 생성 시 모델링 결과 비교

수치고도모델 생성 시 센서모델 성능	실측한 기준점의 모델링 성능 (RMSE, pix.)	자동 기준점의 모델링 성능 (RMSE, pix.)
왼쪽영상	1.16	1.45
오른쪽영상	1.23	0.84

표 5. 생성한 수치고도모델의 정확도

	실측 기준점의 수치고도모델	자동 기준점의 수치고도모델
RMSE (m)	13.8	9.4

도모델의 모든 격자에 대해서 산출한 것이다. 표에서 볼 수 있듯이 실측 기준점으로 생성한 수치고도모델의 RMS 오차는 약 14m 이고 자동 기준점으로 생성한 수치고도모델의 RMS 오차는 약 9m 였다. 기존 DTED Level 2 자료를 기준으로 했을 때 생성된 두 수치고도모델의 RMS 오차 차이는 약 5 m 정도 였다. DTED Level 2 자료의 수직 오차 범위가 18m 이하임을 고려할 때 기존 DTED Level

2 자료와 정사영상을 이용하여 추출한 기준점으로 생성한 수치고도모델의 정확도는 비교적 높은 것으로 생각되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 정사영상과 DTED Level 2를 이용하여 획득한 기준점이 IKONOS 위성영상의 센서모델 수립에 적합한 지 여부를 알기 위해서 DTED Level 2 자료와 정사영상을 이용하여 기준점을 추출하고 이를 이용하여 IKONOS 위성영상의 센서모델을 수립하였다. RANSAC의 오차 임계값이 20 픽셀일 때 추출한 기준점의 결과를 이용해서 수립한 모델의 독립적 성능을 실험한 결과, 수립된 모델의 정확도가 약 4-5 픽셀 정도였다. 본 논문에서는 자동으로 추출한 기준점을 이용하여 IKONOS 영상으로 수치고도모델을 생성하였다. 생성 결과는 실측 기준점으로 생성한 수치고도모델과 자동 기준점으로 생성한 수치고도모델이 육안상으로 유사함을 보여주었다. DTED Level 2 자료를 기준으로 실측 기준점으로 생성한 수치고도모델의 RMS 오차는 약 14m 였고 자동 기준점으로 생성한 수치고도모델의 RMS 오차는 약 9m 였다. 이러한 결과로부터 기존 DTED Level 2와 정사영상으로부터 자동으로 추출한 기준점이 IKONOS 위성영상의 센서모델 수립에 적합함을 알 수 있었다. 하지만 기준점을 자동으로 추출하는 방법과 추출한 기준점의 정확도 향상 등이 추가 연구를 통해서 보완되어야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 김현숙, 이태운, 허동석, 이수암, 김태정, 2007, 정지궤도 기상위성의 자동 기하보정, *대한원격탐사학회지*, 제 23권 제 4호, pp. 297-309.
2. 이태운, 김태정, 최해진, 2005, 정합과 강인추정 기법에 기반한 정지궤도 기상위성 영상에서의 자동 랜드마크 추출기법 연구, *대한원격탐사학회지*, 제 21권 제 6호, pp. 505-516.
3. 임용조, 김태정, 2002, SPOT, EOC, IKONOS 스테레오 영상으로부터 생성된 도심지역 DEM의 정확도 및 성능 비교분석, *대한원격탐사학회지*, 제 18권 4호, pp. 221-231.
4. Fischler, M. A., and C. Bolles, 1981, Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography, *Communication of the ACM*, Vol. 24, No. 6, pp. 381-395.
5. Kim, Taejung and Yong-Jo Im, 2003, Automatic Satellite Image Registration by Combination of Stereo Matching and Random Sample Consensus, *IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 41, No. 5, pp. 1111-1117.

6. Lim, Yong-Jo, Moon-Gyu Kim, Taejung Kim, and Seong-Ik Cho, 2004, Automatic Precision Correction of Satellite Images Using the GCP Chips of Lower Resolution, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Vol. 2, pp. 1394-1397.
7. Nakano, M., Kazi A Kalpoma, and Jun-ichi Kudoh, 2004, Automatic GCP creation for NOAA AVHRR image Geometric Correction, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Vol. 6, pp. 3733-3735.
8. NIMA (National Imagery and Mapping Agency), 2000, Performance Specification Digital Terrain Elevation Data (DTED), MIL-PRF-89020B, <http://www.nga.mil/ast/fm/ac-q/89020B.pdf>
9. U.S. Geological Survey, 1998, Extraction of GCP chips GeoCover using Modified Moravec Interest Operator algorithm, http://landsat.usgs.gov/resources/files/MMIO_GeoCover_Control_White_Paper.pdf