

# 컬러항공사진의 밴드별 수치표고모형 정확도 평가

## To Evaluate the Accuracy of DEMs Derived from the Various Spectral Bands of Color Aerial Photos

김진광<sup>1)</sup> · 황철수<sup>2)</sup>

Kim, Jin Kwang · Hwang, Chul Sue

### Abstract

In this study, Digital Elevation Models (DEMs) were constructed from color images, grayscale images and each bands (Red, Green, Blue) of color image, and the accuracies of each DEMs were evaluated, And then, correlation coefficients between left and right images of each stereopairs were analyzed. The DEM can be constructed conventionally from the digital map and stereopair images using image matching. The image matching requires stereo satellite images or aerial photographs. In case of color aerial photographs, these are to be scanned in 3 bands (Red, Green, Blue). For this study, 5 types of images were acquired; color, grayscale, RED band, GREEN band, and BLUE band image. DEMs were constructed from 5 types of stereopair images and evaluated using elevation points of digital maps. In order to analyze the cause of various accuracies of each DEMs, the similarity between left and right images of each stereopairs were analyzed. Consequently, the accuracy of the DEM constructed from RED band images of color aerial photograph were proved best.

Keywords : DEM, image matching, correlation coefficient

### 초 록

본 연구는 컬러항공사진을 이용하여 컬러영상, 그레이영상 그리고 각 밴드별(RGB) 수치표고모형(DEM)을 생성하여 정확도를 평가하고 좌우 영상간의 상관관계를 분석하기 위한 것이다. 수치표고모형을 생성하기 위한 대표적인 방법으로 수치지도를 이용하는 방법과 영상정합기법을 이용하여 수치표고모형을 생성할 수 있다. 영상정합기법에 의한 수치표고모형 생성 방법은 입체위성영상 또는 항공사진을 이용하는 방법이 있으며 컬러항공사진의 경우 스캐너에서 3개의 밴드(RGB)로 스캔된 영상을 사용한다. 본 연구에서는 컬러항공사진의 수치표고모형 정확도를 분석하기 위하여 모두 5가지 영상(컬러영상, 그레이영상, Red 영상, Green 영상, Blue 영상)을 획득하였다. 각 밴드별 수치표고모형을 생성하여 수치지도에서 추출된 표고점 자료와의 평균제곱근오차(RMSE) 값을 비교하였고, 정확도 분석을 수행하였다. 정확도의 원인을 검증하고자 각 밴드의 좌우 영상에 대한 유사성을 분석하였으며, 그 결과 Red 영상을 이용하는 경우 가장 정확한 수치표고모형을 얻을 수 있었다.

핵심어 : DEM, 영상정합, 상관계수

## 1. 서 론

1860년 James Wallace Black이 계류기구를 이용하여 120피트의 높이에서 최초의 항공사진을 성공적으로 촬영한 후, 제1·2차 세계대전을 거치면서 군사 전술을 완전히 바꾸어 놓을 정도로 발전하였고(Jensen, 2000), 1990년

초부터 사진측량에서의 스캔은 수치사진측량의 흐름에서 일반적인 표준이 되었으며, 사진측량장비의 발달로 야날로그 사진으로부터의 정보 추출보다 더 세밀한 정보를 추출할 수 있게 해 주었다(Franz 등, 2002).

지도문서의 하나인 영상지도는 원격탐사로 얻어진 컬러항공사진이나 위성영상을 배경으로하고 기존 지도, 자

1) 연결저자 · 정회원 · 중앙항공주식회사 지리정보연구소 책임연구원(E-mail:jeff2kim@chollian.net)

2) 정회원 · 경희대학교 지리학과 부교수(E-mail:hcs@khu.ac.kr)

체 영상, 그리고 다른 기타 정보를 조합하여 만들어지고, 영상지도에서 가장 중요한 자료로써 영상의 기복변위를 제거할 수 있는 자료인 수치표고모형이 사용된다. 이러한 수치표고모형은 영상자료의 정사보정, 부피계산, 범람예측, 경사도 분석, 이동통신 셀 설계, 군 작전용 등의 자료로써 그 활용성이 대두되고 있으며(GDTA, 1995), 컬러영상을 배경으로 제작함에 따라 지형·지물의 판독이 용이하고 누구나 쉽게 영상지도를 해석할 수 있기 때문에 컬러영상을 이용한 영상지도 사용 요구가 증가하고 있다.

수치표고모형을 생성하기 위한 대표적인 방법으로 수치지도를 이용하는 방법과 영상정합기법을 이용하여 수치표고모형을 생성할 수 있다. 영상정합기법에 의한 수치표고모형 생성 방법은 입체위성영상 또는 항공사진을 이용하는 방법이 있으며 컬러항공사진의 경우 스캐너에서 3개의 밴드(RGB)로 스캔된 영상을 사용한다.

Robison(1995) 등은 흑백의 항공사진을 공간 해상도별로 스캔하고 각각의 영상을 일부의 영상 값에 대한 손실이 있는 JPG 형태의 압축 파일로 변환하여 수치표고자료를 추출하는 연구를 수행하였다. 건물이나 도로망을 추출하기 위해서 컬러항공사진을 이용하여 수치표고모형을 생성한 후 주변의 수목과 구별하도록 연구를 수행하였고(Niederost, 2001 ; Baltasvias, 2003), 국내에서도 컬러항공사진을 이용하여 영상정합에 의한 방법으로 수치표고모형을 생성하고 정확도를 평가하였다(박용, 2003 ; 황원순, 2004). 그러나 단순히 좁은 지역의 수치표고모형과 수치지도의 표고점 및 등고선과의 비교를 통한 정확도만을 평가함으로써 컬러항공사진 영상의 밴드 특성이 어떻게 영향을 미치는지에 대한 분석이 없는 한계를 갖고 있다.

따라서 본 연구에서는 밴드별로 분리한 입체영상조합으로부터 수치표고모형을 생성한 후 기준자료와의 정확도를 평가하여 어느 밴드의 영상조합이 가장 우수한지를 판단하였고, 각각의 밴드별 입체영상조합에 대한 상관관계를 분석함으로써 정확도에 영향을 미치는 밴드의 특성을 검증하였다.

## 2. 정확도 분석 방법

### 2.1 수치표고모형생성

수치표고모형을 생성하기 위한 입체표정을 위해서는 이론적으로 최소한 2개의 평면 기준점과 3개의 표고 기준점이 필요하다(유복모, 2001). 일반적으로 지상기준점을 현지 측량할 경우 평면기준점과 표고기준점을 구분하여

지상기준점을 획득한다(국토지리정보원, 2006).

표정의 정확도는 국토지리정보원에서 권고하는 오차의 허용 범위인 0.2‰Z~0.4‰Z 이내로 만족하도록 해야 한다.

표정이 완료되면 각 밴드별 입체영상 조합에 대하여 영상정합기법을 이용한 수치표고모형을 생성하여 정확도 평가를 실시한다.

### 2.2 정확도 평가

수치표고모형을 제작하기 위한 격자 간격은 지형 및 제작목적에 따라 달리 정하고 있으며, 정확도를 평가하기 위한 기준자료로는 현지측량이나 대축척 수치지도로부터 확보한 지상기준점(Ground Control Points) 자료를 이용한다. 즉, 지상기준점과 수치표고모형을 비교하였을 때 나타나는 차이 값을 대상으로 정확도를 판정한다. 정확도는 표준편차를 기준으로 하고 있으며(국토지리정보원, 2002), 수치사진측량에서는 평균제곱근오차(RMSE; Root Mean Square Error)를 많이 사용하기도 한다(이승우, 2004).

본 연구에서는 수치지도로부터 추출한 기준이되는 표고점과 각 밴드별 수치표고모형의 정확도를 평가하기 위해 표준편차와 평균제곱근오차를 적용하였으며 그 수식은 다음과 같이 나타낸다.

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n \quad (1)$$

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / n - 1} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i)^2 / n} \quad (3)$$

여기서,  $\bar{X}$  : 평균

$X_i$  : 수치표고모형과 기준점 차이 값

$s$  : 표준편차

$\sigma$  : 평균제곱근오차

### 2.3 상관관계분석

상관관계는 수치표고모형을 생성할 당시 좌우 입체영상에 대하여 영상정합이 얼마나 잘 이루어 졌는가에 따라 다르게 나타난다. 본 연구에서는 상관계수(Correlation coefficient)를 이용하였으며 이는 입체영상의 좌우 영상 간 어느 정도의 유사성(유사도)을 갖는지를 알 수 있는 것이다.

$$\gamma = \frac{S_{LR}}{S_L S_R} \quad (4)$$

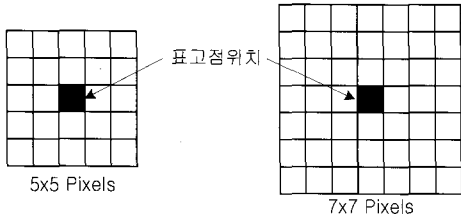


그림 1. 패치의 크기

여기서,  $S_{LR}$  : 패치영역 L과 R의 공분산

$S_L$  : 패치영역 L(기준영역)의 표준편차

$S_R$  : 패치영역 R(정합영역)의 표준편차

상관계수  $\gamma$ 는  $-1 \leq \gamma \leq 1$ 의 값의 범위를 갖는다. 이때 1은 동일한 패턴을, -1은 반전된 패턴을 나타내며  $\gamma$ 의 값이 클수록 두 영상간의 유사성이 높다. 좌우 영상간의 상관관계를 확인하는 유사성을 판단하기 위해서는 기준점 주위로 일정한 크기에 해당하는 패치의 크기에 포함하는 픽셀 값들을 이용하여 계산을 하여야 한다.

Avril Behan(2000)은 GPS/INS를 이용한 지상 고도자료의 정확도를 평가하는데 있어서 패치의 크기를  $15 \times 15$ 로 결정하여 평가 하였고 그 상관계수의 임계값은 0.75를 기준으로 하였다.

Bingcai Zhang(2006) 등은 본 연구에서 사용하는 Socet Set의 ATE기능을 이용하여 비행 활주로가 있는 평탄한 지역에서 수치표고모형을 생성하기 위한 알고리즘을 개발하면서  $15 \times 15$ 의 패치 크기를 기준으로 하여 정확도를 평가하였다.

이와 같이 패치의 크기와 상관계수 값은 다양하게 사용할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 각 경우의 수를 고려하여 수치지도로부터 추출한 표고점 주위로  $15 \times 15$ 의 패치 크기로 결정하여 식 (4)에 적용하여 밴드별 좌우영상에 대한 상관계수를 구하였다.

### 3. 연구지역과 사용자료

#### 3.1 연구지역

본 연구의 공간적 위치로는 경기도의 일부지역으로 선정하였다. 이 지역은 우리나라의 지형 특성을 잘 나타내는 곳으로 수치표고모형을 생성하고 상호간에 비교·평가하기 위한 지형의 기복이 있는 지역과 평탄지역 등으로 구성되어 있다. 이 지역은 수치표고모형을 생성할 때 발생할 수 있는 여러 가지 지형 요건을 갖추고 있기 때문에

대표성을 나타낼 수 있으며 다음과 같은 기준을 통해 연구지역으로 결정하였다.

첫째, 도심지역의 구성요건을 갖추고 있다. 즉, 단독주택 밀집지역, 아파트 지역, 창고 등으로 구성되어 있다.

둘째, 농업지역을 나타내는 논, 밭으로 구성되어 있다.

셋째, 산림지역을 포함하고 있다. 우리나라의 상당부분이 이와 같이 산림지역으로 구성되어 있고 이러한 지역은 난 개발이 이루어지는 지역을 제외하고는 대부분 울창한 숲으로 구성되어 있다.

이상과 같은 조건을 갖추고 있어 연구의 대상지역으로 결정하였으며, 특히 개발을 위한 도시계획 설계의 목적으로 수치표고모형을 기본 자료로 사용할 경우 그 유용 가치가 훨씬 높은 대표성을 나타내리라 본다.

#### 3.2 항공사진

연구에 사용된 자료는 대상 지역에 대한 컬러항공사진으로 사진 축척은 1:10,000으로 촬영하였다. 촬영 시기는 2005년 5월 15일이며 60%의 중중복도로 촬영하였다. 일반적으로 지도 제작의 목적으로 넓은 지역을 촬영할 경우에는 동서 방향으로 직선의 비행경로를 취하여 촬영을 계획하게 된다. 그러나 대상지역의 특성에 따라 남북의 방향으로 촬영하기도 한다. 연구 대상지역은 남쪽에서 북쪽 방향으로 진행하며 촬영하였으며 촬영당시의 비행고도는 1,500m이다.

촬영에 사용한 카메라는 항공사진측량용으로 항공기의 움직임을 보정해주는 FMC 카메라로서 Leica-Geosystems사의 RC30이다. 이 카메라의 검보정은 2002년 10월 8일에 실시하였고 이 당시에 초점 거리는 153.66mm이다. 또한 상관계수의 정확도를 확인하고자 동일 카메라로 촬영한 서울 도심지역 중 다양한 지형을 포함하는 촬영축척 1:5,000의 컬러항공사진을 추가로 사용하였다.

촬영이 완료되면 현상단계를 거쳐 음화(Negative) 상태의 필름이 되며, 본 연구를 위한 수치사진측량시스템에서 컬러항공사진을 사용하기 위해서는 수치형태의 영상으로 변환해 주어야 한다. 수치 형태의 영상을 얻기 위해서는 항공사진 전용 스캐너를 사용하게 된다. 즉, 수치사진측량시스템 환경 내에서 일어나는 모든 작업은 수치영상을 기본 자료로 이용하게 되므로 수치영상의 품질과 정확도는 수치사진측량의 정확도를 좌우하는 중요한 요소 중의 하나이다. 이러한 스캐너는 일반 스캐너와는 달리 활용성 및 품질의 확보가 가능한 고정밀 항공사진 전용 스캐너이다. 그림 2는 본 연구에서 사용한 미국의 Leica-Geosystems사

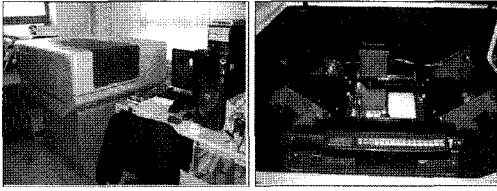


그림 2. DSW600 스캐너와 내부모습

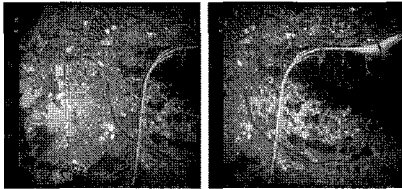
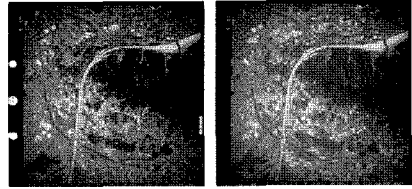
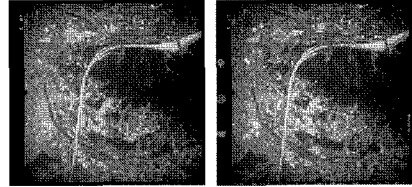


그림 3. 스캔된 좌우영상(1:10,000)



(a) Red

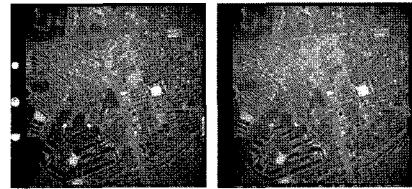
(b) Green



(c) Blue

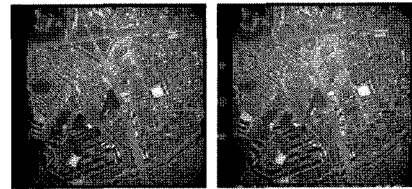
(d) Gray

그림 4. 각 밴드별 영상(1:10,000)



(a) Red

(b) Green



(c) Blue

(d) Gray

그림 5. 각 밴드별 영상(1:5,000)

DSW600 스캐너이다.

스캔 해상도는 국토지리정보원에서 권고하는 1,200DPI로 항공사진영상을 획득하였으며, 이러한 해상도는 수치지도제작, 수치표고모형 생성, 정사영상 등 정량적인 목적으로 활용할 수 있다(이현직, 2000).

사진 한 장의 스캔 영역은 사진 촬영 당시의 기본 정보를 담고 있는 Instruments Recording 부분을 포함하도록 하여 후속 작업에 참고가 가능할 수 있게 하였다. 스캔하여 획득한 영상은 자료의 손실이 없도록 일반적으로 가장 많이 사용하고 있는 상용화된 영상저장 포맷인 Tiff 형식으로 저장하였다. 이렇게 저장된 영상의 크기는 약 390MBytes의 용량을 가지고 있으며 그림 3은 최종 저장된 좌우 컬러 항공사진영상이다.

수치표고모형을 생성하기 위해서 영상을 밴드별로 각각 분리하였으며, 변환된 그레이영상, Red 영상, Green 영상, Blue 영상 등 모두 4개 영상으로 각각 자료의 손실이 없도록 Tiff 포맷으로 저장하였으며 개별 영상의 용량은 약 130MBytes이며 그림 4와 5는 밴드별 분리된 영상을 보여주고 있다.

### 3.3 수치지도

수치표고모형의 정확도 평가를 위해서 사용해야하는 기준 자료로서는 해당 지역에 축척 1:1,000의 수치지도를 확보하였고, 비교평가의 기본 자료로 활용하였다. 일반적으로 축척 1:1,000 수치지도를 제작하기 위한 항공사진의 축척은 1:5,000이고, 1:10,000의 축척으로 촬영된 항공사진은 1:2,500 축척의 수치지도를 제작할 경우에 해당하는

축척이다(국토지리정보원, 2006). 따라서 1:10,000 축척의 항공사진을 이용하여 생성한 수치표고모형의 정확도 평가를 위해서 기준자료로 사용하는 축척 1:1,000의 수치지도는 충분한 정확도를 가지고 있다고 판단하였다.

## 4. 수치표고모형생성

### 4.1 표정

컬러항공사진 영상의 표정과 수치표고모형을 생성하기 위하여 BAE Systems사의 수치사진측량시스템인 Socet Set 5.0의 ATE기능을 사용하였으며, 수치지도 자료의 기준점 선정 및 표고점 처리에는 AutoCAD를 사용하였다.

본 연구에서는 입체표정의 신뢰도를 향상시키기 위해서 좌우 대칭으로 입체모델 영역내에서 고르게 분포되도

록 그림 7과 같이 각각 8점의 지상기준점을 사용하였다.

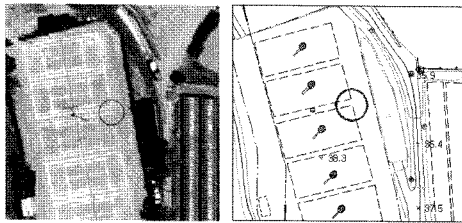
이러한 지상기준점은 지상 측량 방법에 의하여 결정하는 것이 바람직하지만 본 연구에서는 기준점 자료로서 충분한 정확도를 가지고 있는 축척 1:1,000 수치지도를 이용하여 지상기준점을 획득하여 사용하였다. 지상기준점은 소축척 또는 위성사진과 같이 공간해상도가 낮은 경우 일반적으로 도로 굴곡부의 정점, 산의 정상부분, 도로의 교차점 또는 특징적인 형상을 나타내는 점을 선정하여 활용하나 본 연구에서 사용하는 항공사진의 축척이 대축척임을 감안하여 보다 명확한 위치의 지상기준점을 획득하도록 하여 주로 도로의 차선, 건물 모서리, 테니스장 라인 등을 선정 하였다.

본 연구에서는 평탄한 지역에서 명확히 구분될 수 있는 차선과 테니스장의 경우에는 평면기준점좌표(X,Y)와 표고기준점좌표(Z)를 동시에 획득하였으며 그림 6은 테니스장 라인의 지상기준점 위치를 보여주고 있다. 그리고 이와 같이 평탄한 지역에서 명확하지 않은 경우에는 건물

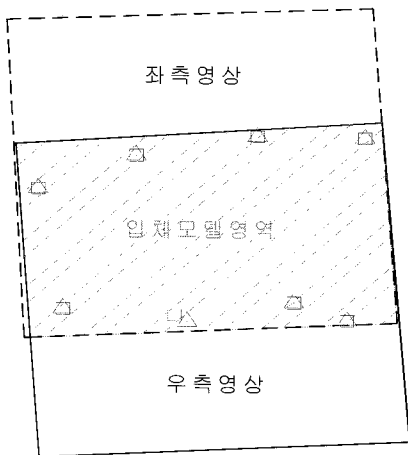
의 모서리처럼 평면상의 명확한 지점에서는 평면 좌표만을 지상기준점으로 획득하였고 주위시야가 확보되고 평탄한 지점에서는 높이 좌표만을 획득하여 지상기준점으로 활용하였다. 즉, 각각 8개의 위치에서 지상기준점을 획득하였는데 이 중에서 7개의 위치에 대한 기준점은 평면과 표고 기준점을 동시에 획득하였고 1개의 위치에서는 평면과 표고의 기준점을 각각 획득하였다.

획득된 지상기준점은 입체모델 영역 내에서 고르게 분포 되도록 위치를 선정하여 입체 표정 정확도가 나아질 수 있도록 하였다. 사진촬영 당시의 기하를 재현하는 표정을 수행함에 있어서 지상기준점의 위치에 대하여 영상 상관합법기법을 이용하여 영상좌표를 측정하고, 각각의 지상기준점에 대하여 정합 결과에 대한 신뢰도를 향상시키고자 육안 입체시를 통해 위치 확인 및 높이의 상태에 대한 검증을 실시하였다. 이러한 검증에서는 반드시 육안으로 검증하여야 하며, 부점(Floating Mark)이 지표면보다 높거나 낮지 않는지 검증하였다.

이와 같은 항공사진영상의 표정은 수치사진측량 시스템을 이용하여 각각의 밴드별 입체모델에 대하여 표정을 실시하였다. 이때, 각 밴드별 영상조합에 따라 기준점의 위치에는 변동이 없고, 영상의 가로 세로 크기는 모두 똑같이 때문에 해당 영상만을 교체함으로써 표정을 실시하였다. 표정의 정확도는 국토지리정보원에서 권고하는 오차의 허용 범위를 만족하도록 하였으며, 결과값은 x:0.20m, y:0.16m, z:0.12m임을 확인 하였고 1:10,000 축척의 항공사진에 대한 표정 허용오차를 만족하고 있으며 표 1은 각 기준점에 대한 오차를 보여주고 있다.



사진상의 위치      지도상의 위치  
그림 6. 지상기준점의 선정 예



△ : 평면기준점(X,Y)      □ : 표고기준점(Z)  
그림 7. 지상기준점 배치도

표 1. 모델링 정확도 결과 (단위:m)

ID	dX	dY	dZ
01-xyz	0.228	-0.107	-0.031
02-xyz	0.009	0.167	0.079
03-xyz	-0.321	0.24	0.061
04-xyz	0.247	-0.272	-0.153
05-xyz	0.184	-0.048	0.209
06-xy	-0.237	0.067	
06-z			-0.174
07-xyz	-0.116	-0.136	-0.032
08-zyz	0.005	0.089	0.041
RMSE	0.200	0.160	0.120

#### 4.2 밴드별 수치표고모형 생성

입체영상을 이용하여 수치표고모형을 생성하기 위해서는 원 영상이 가지고 있는 공간해상도와 동일한 크기를 갖는 격자를 이용할 수 있으나 이와 같은 방법으로 수치표고모형을 생성하는 것은 현실적으로 비효율적이다. 정사영상을 제작하는데 있어서 수치표고모형의 격자 간격은 2화소 이상으로 크기로 권장하고 있고 지형 및 제작 목적에 따라 지상거리로 5m×5m 또는 10m×10m의 격자 간격 크기로 권장하고 있으며, 항공사진의 축척이 1:10,000이고 이를 이용한 지도를 제작할 경우 등고선의 간격이 2.5m임을 감안하여 2m×2m의 격자 간격으로 수치표고모형을 생성하였다.

수치사진측량시스템인 Socet Set의 수치표고모형 생성 알고리즘은 일반적으로 많이 사용하는 영역기반 영상정합의 상관매칭기법을 사용하였다. 매칭 픽셀 크기는 15×15를 기본값으로 정하고 있으며, 또한 매칭에 따른 상관계수의 임계값은 0.5를 기본값으로 정하고 있으나 본 연구에서는 피라미드 영상에 따라 0.4~0.5를 적용하였다. 이러한 매칭크기나 임계값은 대상지역의 특성에 따라 달리 적용함으로써 최상의 수치표고모형을 생성할 수 있다. 본 연구에서는 밴드별 수치표고모형의 정확도 평가를 위해 동일한 조건하에서 수치표고모형을 생성하여 비교토록하고자 기본값을 적용하였다.

수치표고모형 생성 영역은 정확도에 영향이 미치지 않도록 영상의 가장자리 부분에서 떨어지도록 하여 그림 8과 같이 입체모델 안에서 약 2.1km×1.1km 영역으로 하였다.

각 밴드별 수치표고모형 생성에 필요한 소요시간은 컴

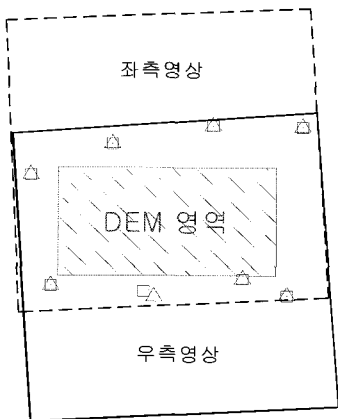


그림 8. 수치표고모형 생성영역

퓨터의 기종 및 구성 사양에 따라 다르다. 본 연구에서 사용한 컴퓨터는 Pentium IV기종으로 중앙처리장치(CPU)의 처리속도 2.8GHz, RAM 2GBytes, Graphic Card RADEON 9600 PRO로서 수치표고모형 생성 시간은 표 2와 같다.

표 2는 수치표고모형 생성시간을 나타내고 있는데 3개의 밴드값을 포함하고 있는 컬러항공사진 입체영상에서 거의 두 배 가까운 시간이 소요됨을 알 수 있다. 만약 수치표고모형의 정확도가 각 밴드별로 차이가 미소하다면 불필요한 소요시간 낭비에 대한 고려가 있어야 할 것이다.

그림 9는 기준자료인 수치지도의 수치표고모형과 각 밴드별 영상조합에 의한 수치표고모형을 생성하여 수치지도, 컬러영상, 그레이영상, 밴드별(RGB) 음영기복도를 나타내고 있다.

#### 4.3 기준자료 생성

생성된 수치표고모형에 대한 정확도를 평가하기 위하여 1:1,000 수치지도로부터 표고점 레이어를 추출하여 기준자료로 사용하였다. 수치지도를 제작한 항공사진의 촬영시점과 수치표고모형에 사용된 컬러항공사진의 촬영

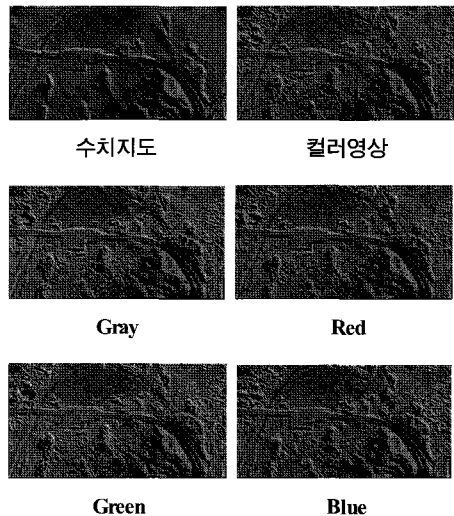


그림 9. 영상조합별 음영기복도

표 2. 수치표고모형 생성 소요시간

구분	Color	Gray	Red	Green	Blue
소요시간(분)	9.5	5.5	5.5	5.5	5.5
격자간격(m)	2	2	2	2	2

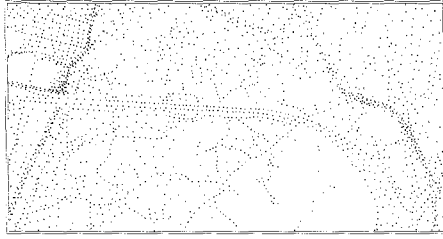


그림 10. 전체 표고점

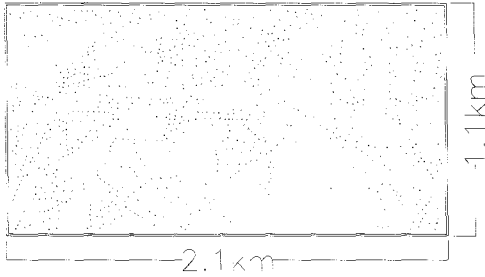


그림 11. 사용된 표고점

시점의 차이, 그리고 촬영각의 차이에 따라 표고점의 위치가 변화할 수 있다. 따라서 1:1,000 수치지도로부터 추출된 표고점의 위치에 대한 지형을 모두 확인하기 위하여 컬러항공사진을 입체로 관측하여 지형이 변화되었거나 표고점위치가 가로수와 숲에 가려져 보이지 않는 표고점은 모두 제거하여 정확도 평가에 영향을 미치지 않도록 하였다.

그림 10은 수치지도로부터 추출된 전체 표고점은 2,015 점이고 이러한 표고점에 대하여 좌우 영상에서 건물이나 수목에 가려지지 않고 명확히 보이는 표고점을 선정하여 그림 11과 같이 959개의 표고점을 정확도 평가에 사용하였다.

## 5. 결과분석

### 5.1 정확도평가

생성된 각 밴드별 수치표고모형에 대하여 수치지도로부터 가져온 기준자료인 표고점을 이용하여 정확도를 평가한 결과는 표 3과 같다. 이때 표고점의 위치와 수치표고모형의 위치는 다르게 된다. 따라서 표고점 주위에 있는 수치표고모형을 경중률에 따라 보간 하여 표고점의 동일위치를 구하여 높이값에 대한 정확도 평가를 수행하였다.

표 3. 수치표고모형 정확도 (단위:m)

구분	Color	Gray	Red	Green	Blue
Total Points	959	959	959	959	959
Average	-0.394	-0.345	-0.363	-0.341	-0.574
Sd.	1.161	1.243	1.152	1.255	1.542
RMSE	1.225	1.289	1.207	1.299	1.645

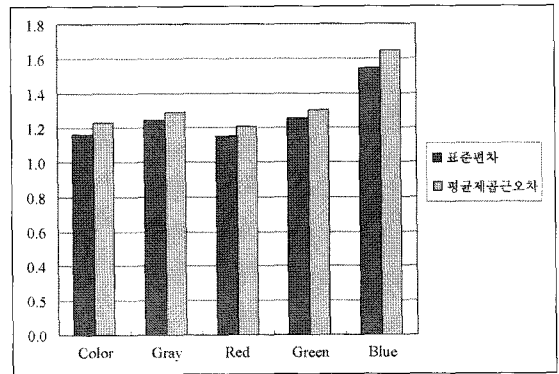


그림 12. 수치표고모형 정확도 비교

표 3의 정확도 평가 결과 표준편차를 살펴보면 Red 밴드 입체 영상의 수치표고모형이 1.15m로 가장 우수한 반면 Blue 밴드 입체영상의 수치표고모형의 1.54m로 가장 낮은 정확도를 나타내고 있으며, 평균제곱근오차(RMSE)를 비교한 결과에서도 Red 입체 영상의 수치표고모형이 1.21m로 가장 정확도가 우수한 것으로 나타났고 Blue 밴드 입체 영상의 수치표고모형이 1.65m로 정확도가 가장 낮은 것으로 나타났다.

각각의 영상 밴드별 입체영상조합에 대한 수치표고모형을 기준 수치지도로부터 추출한 표고점과의 정확도 평가 결과를 분포도로 나타낸 결과 그림 13의 Red 영상에서는 일부 표고점 위치에서 정확도가 낮게 나타나지만 대체적으로 양호한 것으로 나타난다.

반면에 가장 정확도가 낮은 Blue 밴드의 수치표고모형의 분포도를 보면 그림 14과 같이 0을 기준으로 많은 표고점 위치에서 오차가 크게 발생함을 알 수 있다.

표 4는 가장 정확도가 우수한 Red 밴드 수치표고모형에 대하여 대상지역을 도심지역, 농업지역, 산림지역으로 구분하여 정확도를 평가한 결과이다. 도심지역의 정확도가 가장 낮은 것으로 나타나고 있는데 이는 건물의 영향으로 수치표고모형 생성시 오류가 많음을 알 수 있다.

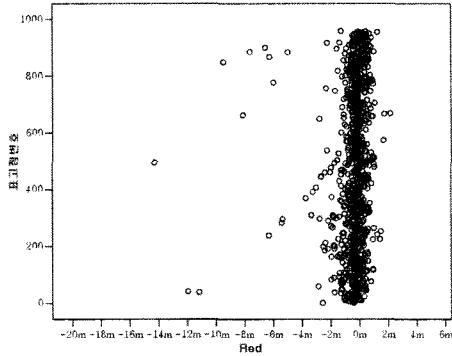


그림 13. Red DEM의 오차 분포도

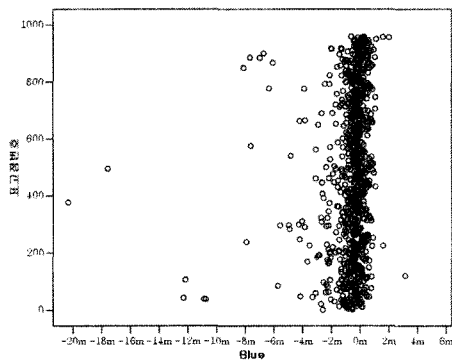


그림 14. Blue DEM의 오차 분포도

표 4. Red 수치표고모형의 지역별 정확도

구분	도심지역	농업지역	산림지역
Total points	158	743	60
Average	-1.044	-0.245	0.005
Sd.	2.224	0.717	0.631
RMSE	2.450	0.757	0.626

### 5.2 상관관계분석

촬영축척 1:10,000과 1:5,000의 상관계수를 구하기 위하여 959개 표고점 주위의 패치 크기 15×15에 대한 픽셀 값을 이용하였다. 또한 매칭이 잘 이루어진 값과의 비교를 하고자 959개의 표고점 중에서 상관계수의 임계값이 0.75 이상과 0.5 이상에 대한 표고점만을 선택하여 밴드 특성을 분석하였다.

표 5에 나타난 것처럼 정확도 평가에 사용한 959개의 기준 표고점에 대하여 픽셀의 크기에 따라 상관계수를 구한 결과 0.75이상인 표고점에 대해서만 상관계수 값을 선택하여 계산한 결과에서도 Red가 0.839로 가장 높게 나타났으며 이에 사용된 표고점의 수량도 115개로 가장 많

표 5. 촬영축척 1:10,000의 밴드별 상관계수와 표고점 수량

상관계수	Color	Gray	Red	Green	Blue
0.75이상 평균	0.809	0.832	0.839	0.824	0.821
0.75이상 수량	45	89	115	74	42

표 6. 촬영축척 1:5,000의 밴드별 상관계수와 표고점 수량

상관계수	Color	Gray	Red	Green	Blue
0.75이상 평균	0.562	0.562	0.569	0.562	0.554
0.75이상 수량	93	103	120	88	70

을 수량을 사용함으로써 전체적으로 정확도가 우수하다는 것을 알 수 있다. 반면에 Blue의 상관계수 및 0.75 이상의 표고점 수량은 가장 낮게 나타나 수치표고모형을 생성하고자 할 경우 Blue 영상은 사용하지 말아야 한다는 것을 알 수 있다.

또한 표 6에서처럼 1:5,000 축척에서도 Red의 상관계수가 높게 나타났으며, 특히 표고점의 수량에서도 Red가 가장 높은 결과를 보이고 있다.

이상의 연구 결과는 두 가지 축척에서 모두 Red 밴드의 영상에서 우수한 수치표고모형을 생성한다는 것을 알 수 있다. 밴드별로 분리한 영상을 보면 Red 영상이 가장 선명하게 보이는데 이러한 현상은 Red의 파장이 0.6~0.7 $\mu\text{m}$ 이고, Blue와 Green의 파장이 0.4~0.6 $\mu\text{m}$ 이기 때문에 Red 영상은 대기의 산란 영향을 적게 받아 선명하게 보이고, 따라서 수치표고모형에서도 Red가 가장 우수한 결과를 얻는 것을 알 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 최근 활용성과 사용자의 요구가 증가되고 있는 영상지도의 제작에 필요한 컬러항공사진을 이용하는 데 있어서 기초자료가 되고 있는 수치표고모형의 생성에 대한 정확도를 평가하고 그 원인을 분석함으로써 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 컬러항공사진의 스캔 방법과 밴드의 차이에 따라 모두 5가지 수치표고모형을 생성한 결과 표준편차 및 평균제곱근오차에서 Red 영상의 정확도가 가장 높게 나타남을 알 수 있었으며, 상관관계를 비교한 결과에서도 Red 영상의 상관계수가 가장 높게 나오므로 영상매칭이 가장 우수한 것으로 나타났다.

둘째, 컬러항공사진을 스캔 후 Gray 영상으로 변환하여



생성한 수치표고모형은 Red 영상만을 이용하는 경우보다 정확도가 하락하는 것으로 나타났으며, 이는 흑백으로 촬영한 항공사진을 스캔하여 수치표고모형을 생성하고자 할 경우에는 흑백과 컬러항공사진 촬영에 따른 비용을 감안하여 정확도가 우선시되는 상황에서는 컬러항공사진을 촬영하여 Red 영상만을 분류하여 수치표고모형을 생성하는 것을 고려해야 할 것이다.

셋째, 수치표고모형의 정확도 평가 방법을 단지 평균제곱근오차(RMSE)만을 이용하는 것이 아니라 표준편차, 분산, 공분산 등을 이용한 상관관계를 적용함으로써 수치표고모형의 정확도 평가 방법에 대한 신뢰도를 향상할 수 있다.

넷째, 수치표고모형의 생성시간은 밴드별 분리한 영상보다 컬러영상이 1.7배의 시간이 소요됨에 따라 수치표고모형만을 중요시 할 경우에는 특정 밴드의 영상만을 활용해야 할 것이다.

영상지도에 대한 수요가 증가하고 있고 정사영상에 대한 제작 요구가 늘어남에 따라 정확도가 높은 수치표고모형의 획득은 필수적으로 해결해야 할 과제이다. 따라서 컬러항공사진영상으로부터 수치표고모형을 생성하고자 할 경우 각각의 영상밴드별로 분류하지 않고 직접 컬러영상으로부터 정확도가 높은 수치표고모형을 생성할 수 있도록 하는 다양한 실험적 연구가 추가될 경우 신속한 지형정보의 획득에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- 국토지리정보원 (2002), 수치표고모형구축에관한작업규정, 제18조 격자규격, 제19조 정확도.
- 국토지리정보원 (2002), 영상지도제작에관한작업규정, 제8조 최적해상도.
- 국토지리정보원 (2006), 항공사진측량작업내규, 제14조 사진측척의 결정.
- 박용 (2003), 천연색 항공영상의 수치표고모형 생성 및 정확도 평가, 명지대학교 석사학위논문.
- 유복모 (2001), 사진측량학개론, 사이텍미디어.
- 이현직 (2000), 항공사진의 자동독취에 관한 최적화 방안에 대한 연구, 국토지리정보원.
- 조규진 (2004), 측량정보공학, 양서각.
- 황원순, 전호원, 김강래 (2004), 천연색 항공영상의 수치표고모형 정확도 평가, 한국측량학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 259-262.
- Baltsavias, E. and Zhang, C. (2003), Automated Updating of Road Databases from Aerial Imagery, *Institute of Geodesy and Photogrammetry*, Vol. 6(iss. 3-4), pp. 199-213, Zurich, Swiss.
- Behan, A. (2000), On the Matching Accuracy of Rasterised Scanning Laser Altimeter Data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 33(B2), pp. 75-82, Amsterdam, Netherland.
- GDTA (1995), *DEM Stereoscopic aspects of SPOT*, Tutorial.
- Jensen J.R., 2000, *Remote Sensing of the Environment*, Prentice Hall
- Leberl, F. and Gruber, M. (2002), Photogrammetric Color Scanning, *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 34(2).
- Niederoest, M. (2001), Automated Update of Building Information in Maps using Color Aerial Imagery, *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Gifu, Japan.
- Robinson, C., Montgomery, S.B., and Fraser, C.S. (1995), The Effects of Image Compression on Automated DTM Generation, *Photogrammetric Week '95*, pp. 255-262, Heidelberg, Germany.
- Zhang, B., Miller, S., Venecia, K.D., and Walker, S. (2006), Automatic Terrain Extraction using Multiple Image Pair and Back Matching, *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, Annual Conference, Reno, Nevada.

(접수일 2006. 11. 6, 심사일 2006. 11. 14, 심사완료일 2007. 1. 17)

