

# 메타정보 없는 단일 고해상도 영상으로부터 3차원 건물 모델 생성에 관한 연구

## A Study on the Reproduction of 3-Dimensional Building Model from Single High Resolution Image without Meta Information

이태윤\* · 김태정\*\*

Lee, Tae yoon · Kim, Tae jung

### 要 旨

본 연구에서는 단일 고해상도 영상으로부터 그림자와 건물 연직선을 이용한 3차원 건물 정보 추출 알고리즘을 확장하여 메타정보가 없는 단일 고해상도 영상에서도 3차원 건물 정보 추출 생성 방법을 제안하고, 이를 통해서 3차원 건물 모델 생성 가능성에 대해서 연구하였다. 제안된 방법은 메타정보가 없는 영상에서 기준 건물을 선택하고, 기준 건물에 높이를 부여하여 이로부터 센서와 태양의 고도각 및 방위각을 추정한다. 스테레오 IKONOS 위성영상에서 추출한 건물의 높이를 실제 높이라고 가정했을 때, 제안된 방법으로 메타정보를 이용하지 않고 IKONOS 영상으로부터 추출한 20개의 건물 높이 RMS 오차는 3m 미만이었으며, 5개의 건물 수평 위치를 1:1000 수치지형도의 건물 수평 위치와 비교한 결과, RMS 오차가 3m 미만이었다. 또한 제안된 방법을 구글어스로부터 추출한 영상에 적용한 결과, 17개 건물 높이의 RMS 오차가 3m 미만이었다. 제안된 방법으로 생성한 3차원 건물 모델을 육안으로 비교한 결과, 메타정보를 이용하여 생성한 3차원 건물 모델과 유사한 높이 패턴을 보여주었다. 이를 통해서 제안된 방법으로 메타정보가 없는 고해상도 영상에서 3차원 건물 모델이 추출될 수 있다고 판단하였다.

핵심용어 : 메타정보 없는 단일 고해상도 영상, 메타정보, 3차원 건물 모델, 구글어스

### Abstract

We expanded the 3D building information extraction method using shadow and vertical line from single high resolution image with meta information into the method for single high resolution image without meta information. Our method guesses an azimuth angle and an elevation angle of the sensor and the sun using reference building, selected by user, on an image. For test, we used an IKONOS image and an image extracted from the Google Earth. We calculated the Root Mean Square (RMS) error of heights extracted by our method using the building height extracted from stereo IKONOS image as reference, and the RMS error from the IKONOS image and the Google Earth image was under than 3 m. We also calculated the RMS error of horizontality position by comparison between building position extracted from only the IKONOS image and it from 1:1,000 digital map, and the result was under than 3 m. This test results showed that the height pattern of building models by our method was similar with it by the method using meta information.

Keywords : single height resolution image without meta information, meta information, 3D building model, google earth

### 1. 서 론

최근에 일반 사람들도 인터넷을 통해서 쉽게 고해상도 영상 지도와 3차원 건물 모델을 접할 수 있게 되었

다. 이러한 정보를 제공하는 대표적인 영상지도로 구글어스(Google earth) 등이 있다. 구글에서 공개한 스케치업(Skechup)이라는 소프트웨어를 이용하면 일반인도 쉽게 3차원 건물 모델을 만들어서 구글어스의 영상

2009년 7월 17일 접수, 2009년 8월 22일 채택

\* 인하대학교 지리정보공학과 박사과정(etaeyoon@inha.edu)

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

지도 위에 올릴 수 있다(Google 어스, 2009). 이처럼, 고해상도 영상 지도와 3차원 모델 생성은 비전문가에 게도 관심의 대상이 되고 있다. 3차원 건물 모델 생성과 관련된 연구들은 이전부터 수행되어 왔다(오재홍 등, 2007; 위광재 등, 2007; 정성혁과 이재기, 2008; Bohn, 2004; Frueh et al., 2004; Frueh and Zakhor, 2003; Lafarge et al., 2008; Zhang et al., 2003). 많은 연구들이 다양한 데이터를 활용하여 정밀한 건물 모델 생성 및 이를 이용한 도시 모델 생성(위광재 등, 2007; 정성혁과 이재기, 2008; Frueh and Zakhor, 2003; Lafarge et al., 2008; Zhang et al., 2003)에 초점을 맞추거나, 세밀한 건물 텍스처 생성 또는 자동 건물 텍스처 생성(오재홍 등, 2007; Bohn, 2004; Frueh et al., 2004) 등에 주안점을 둔 연구를 수행하였다.

세밀한 형태의 건물 모델을 생성하거나 보다 정확한 3차원 정보를 획득하기 위해서는 다양한 정보를 활용하거나 높은 비용을 고려해야 할 것이다. 하지만, 비교적 정확도는 낮은 3차원 정보를 갖는다고 해도 건물들 간의 높이가 실제 세계 건물들 간의 높이와 유사한 패턴을 보인다면, 이러한 정보로 생성되는 건물 모델들도 다양한 곳에서 활용 가능할 것으로 생각된다. 그 예로 3차원 네이게이션을 위한 3차원 지도나 실제 세계를 기반으로 한 시뮬레이션 게임 등 시각적인 부분이 더 중요한 분야를 생각해 볼 수 있다. 도시와 관련된 시뮬레이션의 목적에 따라서는 간단한 건물 모델로 이루어진 도시 모델을 사용해도 무방한 경우가 있을 수 있다.

이러한 점들을 고려하여 본 연구에서는 기존의 단일 고해상도 영상과 영상의 메타정보를 이용하여 그림자 분석을 통한 3차원 건물 정보 추출 방법(이태운 등, 2006)을 확장하여 메타정보가 없는 단일 고해상도 영상에서도 3차원 건물 정보를 추출하고, 이를 이용하여 3차원 건물 모델 생성 가능성에 대해서 알아보려고 하였다. 본 논문에서 메타정보는 영상과 함께 제공되는 정보로서, 영상을 촬영할 당시의 센서 및 태양의 방위각과 고도각, 촬영 시간 등을 포함한 정보 또는 이를 알 수 있는 정보이다. 본 논문에서 제안한 방법은 인터넷을 통해서 쉽게 접근 가능하지만, 메타정보 등은 구하기 어려운 고해상도 영상에 대한 활용성을 고려한 것이다.

본 연구에서 제안하는 방법은 기존 방법(이태운 등, 2006)을 사용하기 위해서 필요한 센서와 태양의 방위각 및 고도각을 단일 고해상도 영상에서 추정하고, 이를 이용하여 단일 고해상도 영상만을 이용하여 3차원 건물 정보 추출 및 건물 모델을 생성하는 방법이다. 제안된 방법은 기존에 되는 기존 건물을 선택하고, 이 건물의 높이값을 부여하여 이로부터 방위각 및 고도각을

추정한다. 본 연구에서는 IKONOS 영상과 메타정보가 없는 구글어스에서 추출한 영상을 이용하여 실험하였으며, IKONOS 영상을 이용한 경우에는 메타정보 유무에 따라서 기존방법과 제안된 방법으로 추출한 건물의 3차원 정보를 비교하여 보았다.

## 2. 단일 고해상도 영상에서 그림자와 연직선을 이용한 3차원 건물정보 추출 방법

본 연구를 통해서 확장시킨 기존방법은 메타정보가 있는 단일 고해상도 영상에서 건물 그림자와 연직선에 기반한 방법(이태운 등, 2006)이다. 이 방법은 영상이 촬영될 당시의 센서와 태양의 방위각 및 고도각을 이용하여 건물의 그림자와 연직선이 시뮬레이션 가능하다는 사실에 기반한 수동적인 건물 정보 추출 방법이다. 이때 추출되는 건물의 3차원 정보는 건물 높이와 건물 바닥 모퉁이의 영상 좌표이다.

이 방법을 수행하기 위해서는 먼저 사용자가 건물 지붕의 모퉁이를 선택하고 이로부터 지붕의 외곽선을 생성한다. 그리고 사용자가 건물 높이를 증가시키거나 감소시키면서 그에 따른 건물 그림자와 건물의 연직선을 시뮬레이션 한다. 시뮬레이션 된 그림자와 연직선은 영상의 해당 건물로 투영되어, 영상에 존재하는 실제 건물 그림자와 시뮬레이션 된 그림자가 일치했을 때의 높이를 실제 건물 높이라고 결정한다. 그리고 이때의 연직선과 추출된 지붕 외곽선을 이용하여 영상에서의 건물 바닥을 결정할 수 있다. 다음 그림 1은 이러한 과정을 보여주고 있다.



그림 1. 단일 고해상도 영상에서 건물의 그림자와 연직선 기반 건물 추출 과정

이 방법은 건물의 그림자와 건물 바닥이 평평한 지표면 위에 있다고 가정한다. 그리고 건물의 그림자가 일부분이라도 식별되거나, 건물의 바닥이 보이는 상황에서만 적용할 수 있다. 이 방법을 적용하기 위해서는 영상의 촬영방식에 따라서 IKONOS의 표준기하보정(Standard Geometrically Corrected)에 준하는 기하보정이 필요할 수도 있다.

### 3. 단일 고해상도 영상을 이용한 3차원 건물 모델 생성

#### 3.1 메타정보를 이용한 단일 영상에서 3차원 건물 모델 생성

본 연구에서는 먼저, 기존방법을 이용하여 메타정보가 있는 단일 고해상도 IKONOS 위성영상과 항공사진으로부터 3차원 건물 모델을 생성하여 보았다. 그 과정은 다음 그림 2와 같다.

그림에서 볼 수 있듯이, 먼저 단일 고해상도 영상에 대해 센서모델을 수립한다. 센서모델을 수립하기 위해서 IKONOS 영상의 경우에는 GPS 측량 장비를 이용하여 실제로 측량한 10개의 기준점을 이용하였고, 항공사진의 경우에는 1:1,000의 수치지형도에서 추출한 기준점을 이용하였다.

그림 2에서 건물 지붕 외곽선 추출부터 건물 높이 및 바닥 모퉁이 좌표 결정까지는 기존방법이다. 기존방법으로 추출한 바닥 좌표는 영상좌표이므로, 이러한 정보로 생성한 건물 모델을 지형 위에 올리기 위해서는 건물 바닥 좌표를 지상 좌표로 변환하여야 한다.

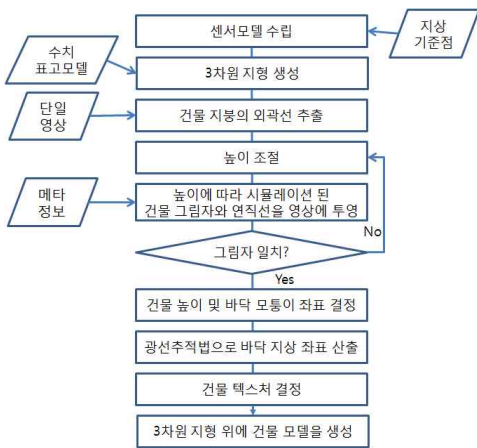


그림 2. 메타정보가 있는 단일 고해상도 영상에서 3차원 건물 모델 생성 과정

본 연구에서는 수치표고모델과 수립된 센서모델을 이용한 광선추적법(RayTracing)으로 건물 바닥 영상 좌표를 지상 좌표로 변환하였다. 수립된 단일 영상에 대한 센서모델로 건물 바닥의 영상 좌표를 지상 좌표로 변환하기 위해서는 건물 바닥의 영상 좌표와 대응되는 지표면 높이가 필요하다. 지표면 높이를 기존에 구축된 수치표고모델로부터 추출하였다. 하지만, 수치표고모델로부터 높이를 추출하기 위한 정확한 수평위치를 알 수 없으므로, 광선추적법을 적용하였다. 즉, 초기 지표면 높이를 0으로 가정하고, 바닥 영상 좌표에 대응되는 부정확한 지상 좌표를 산출한다. 산출된 지상 좌표를 이용하여 수치표고모델에서 지표면 높이를 추출하고, 다시 이 높이와 바닥 영상 좌표를 이용하여 지상 좌표를 산출한다. 이런 과정을 반복하여, 비교적 정확한 지상 좌표를 추정할 수 있다. 수치표고모델의 공간해상도는 사용된 영상의 공간해상도와는 차이가 있을 수 있으므로, 이중선형보간법(Bilinear interpolation)을 적용하여 해당 지상 좌표에 대응되는 높이를 추출하였다.

기존방법을 활용하여 생성한 3차원 건물 모델을 수치표고모델로 생성한 3차원 지형 위에 올린 결과는 다음 그림 3과 같다.



그림 3. 제안된 방법으로 생성된 3차원 건물 모델을 지형 위에 올린 결과 (위: 항공사진, 아래: IKONOS 영상)

사용된 IKONOS 영상은 2002년도에 대전 지역을 촬영한 것으로 1m의 공간해상도를 갖고, 항공사진은 2003년도에 구리지역을 촬영한 것으로 1:5,000 축척의 항공사진이다.

### 3.2 메타정보 없는 단일 영상에서 3차원 건물 모델 생성

영상이 촬영될 당시 센서와 태양의 방위각 및 고도각 정보를 알 수 없어도 영상이 촬영된 정확한 날짜 및 시간과 촬영 지점의 경위도 정보를 이용하면 태양의 고도각을 계산할 수 있다. 하지만 구글어스와 같은 영상 지도에서는 정확한 촬영 시간까지 공개되어 있지 않은 영상도 존재한다.

태양의 방위각 및 센서의 방위각은 영상에서 그림자의 방향과 건물 연직선의 방향을 통해서 추정할 수 있다. 하지만, 건물의 높이를 추정하기 위해서는 태양 또는 센서의 고도각이 필요하거나 이를 대체할 방법이 필요하다. 본 연구에서는 영상에서 건물 바닥 모퉁이와 이와 연결된 그림자 연선이 식별되는 건물을 기준 건물로 선택하고 이 건물에 대한 높이 정보를 부여하여, 이로부터 기존방법에 적용할 수 있는 방위각 및 고도각 정보를 추정하였다.

고해상도 위성영상에서 임의의 한 건물에 대한 높이를 알고 있다면, 이 높이를 이용하여 센서와 태양의 고도각을 추정할 수 있다. 이러한 기준 건물의 높이는 실제 측량을 수행하여 얻을 수 있다. 만약 영상에서 공공기관 등의 건물이 존재한다면, 인터넷에 해당 건물의 높이를 찾을 수도 있다. 또한 사용자가 대략적인 높이를 부여하는 방식도 고려할 수 있다. 해당 높이를 알 수 있다면, 다음과 같이 간단한 식을 이용하여 고도각을 산출할 수 있다.

$$H = a \times \tan \theta \quad (1)$$

위 식에서 H는 건물의 높이를 나타내고, a는 영상에서 건물 연직선의 길이 또는 그림자의 길이,  $\theta$ 는 센서의 고도각 또는 태양의 고도각을 나타낸다. 연직선의 길이 또는 그림자의 길이는 영상의 Ground Sampled Distance(GSD)를 고려하여 계산한다. 본 연구에서 메타정보가 없는 고해상도 영상은 GSD 정보도 알 수 없다고 가정하여, 메타정보가 없는 영상에 대한 모든 실험에서 GSD를 1로 적용하였다.

## 4. 실험방법

### 4.1 사용된 자료

본 연구에서는 IKONOS 영상과 구글어스에서 추출한 동일 지역의 영상을 이용하여 실험을 수행하였다. 사용된 영상은 그림 4와 같다.

그림 4에서 위쪽 그림은 실험에 사용된 대전지역의 IKONOS 영상 일부분을 보여주고 있다. 사용된 IKONOS 영상은 2002년도에 촬영된 표준기하보정 처리된 영상으로 메타정보에서 센서와 태양의 방위각 및 고도각은 표 1에 나타나 있다. 그 아래 그림은 구글어스에서 대전 지역을 추출한 것이다. 구글어스에서 대전 지역을 추출할 때, 시간적으로 IKONOS 영상 보다 큰 공간 해상도를 갖도록 했다. 그림 4에서 동그라미 부분은 메타정보를 이용하지 않을 때 기준으로 사용된 건물을 표시한 것이다.

본 연구에서는 건물의 높이 기준값을 스테레오 IKONOS 영상으로부터 추출했다. 이를 위해서 사용된 지상기준점은 IKONOS 영상을 기준으로 실제 대전 지역에서 GPS 측량 장비로 측정한 것이다. 본 연구에서는 각 영상에 대해서 10개의 지상기준점을 측정하여 이용하였다.

IKONOS 영상으로부터 건물 모델의 수평 위치를 산출할 때 사용된 수치표고모델은 1:5,000 수치지형도로 부터 ArcMap을 이용하여 9.05 m의 공간해상도로 생성한 것이다.



그림 4. 사용된 영상 (위: IKONOS, 아래: 구글어스)

4.2 실험 방법

본 연구에서는 IKONOS 영상에서 메타정보를 이용하여 기존방법으로 건물 정보를 추출하고, 메타정보를 이용하지 않고 제안된 방법으로 건물 정보를 추출하여 각각의 경우에 대해 수평 위치와 높이 정확도를 검증하였다. 또한 메타정보가 없는 구글어스 영상에 제안된 방법을 적용하여 건물 정보를 추출하고 건물의 높이 정확도를 검증하여 보았다. 그리고 추출된 건물 정보로 3차원 건물 모델을 생성하여 육안으로 그 차이를 비교하여 보았다.

본 연구에서는 제안된 방법의 정확도를 검증하기 위해서 스테레오 IKONOS 영상에서 추출한 건물 높이와 1:1000 수치지형도에서 대응되는 건물의 수평 위치를 참값으로 가정하였다.

본 연구에서 제안한 방법은 높이값을 부여하여 방위각 및 고도각을 추정할 기준건물이 필요하다. 본 실험에서 메타정보가 없는 경우 선택한 기준건물은 정부대전청사와 주변에 있는 임의의 아파트이다 (그림 4.의 동그라미). 정부대전청사는 인터넷에 지상으로부터의 최고높이가 91.9 m로 명시 (정부청사관리소, 2009)되어 있어, 이를 이용하였다. 주변에 있는 임의의 아파트는 대략적인 높이를 적용한 결과를 알아보기 위해서 이용하였다. 본 연구에서는 아파트의 대략적인 높이를 40 m로 설정하고 제안된 방법에 적용하였다.

제안된 방법으로 추정된 방위각 및 고도각은 표 1, 2

표 1. IKONOS 영상의 메타정보와 기준 건물에서 추정된 정보

영상	IKONOS 위성영상		
	메타정보	정부대전청사	임의의 아파트
기준			
기준높이	-	91.9 m	40 m
센서 방위각	234.87°	237.65°	235.30°
태양 방위각	159.24°	160.21°	159.67°
센서 고도각	68.44°	68.87°	68.43°
태양 고도각	35.87°	37.18°	34.78°

표 2. 구글어스 영상에서 기준 건물로부터 추정된 정보

영상	구글어스에서 추출한 영상		
	정부대전청사 I	정부대전청사 II	임의의 아파트
기준			
기준높이	91.9 m	88.8 m	40 m
센서 방위각	192.87°	192.87°	191.30°
태양 방위각	169.19°	169.19°	168.69°
센서 고도각	68.66°	67.98°	69.07°
태양 고도각	30.70°	29.84°	30.30°

와 같다. 표 1에서 볼 수 있듯이, 실제 IKONOS 위성 영상의 메타정보에 있는 센서와 태양의 방위각이 IKONOS 위성영상의 기준건물을 이용하여 산출한 방위각과 몇 °의 차이를 보인다.

제안된 방법으로 추출된 방위각은 영상의 Y 축을 기준으로 하였기 때문에 이러한 차이가 나타나는 것으로 생각된다. 고도각의 경우에 센서 고도각은 유사하지만, 태양의 고도각은 정부대전 청사의 고도각이 다르게 산출되었다. 이러한 차이의 원인은 고도각 산출을 위해서 사용되는 영상에서의 그림자의 길이를 계산할 때, 실제 지면의 굴곡에 따라서 발생하는 그림자 길이 차이, 그림자 길이를 계산할 때 선택하는 픽셀의 위치 정확도 등인 것으로 생각된다.

구글어스 영상의 경우에는 정부대전청사 I, 정부대전청사 II, 임의의 아파트로 나누어 실험을 수행하였다 (표 2). 이때 정부대전청사 I은 인터넷에서 찾은 높이인 91.9 m를 적용했을 때이고, 정부대전청사 II는 스테레오 IKONOS 영상에서 추출한 정부대전청사 높이 88.8 m를 사용한 것이다. 인터넷 상에서 찾은 높이 (91.9 m)와 스테레오 영상에서 추출한 높이 (88.8 m)가 차이나는 이유는, 스테레오 영상에서 추출한 높이의 경우에 정부대전청사의 헬기 착륙장으로 보이는 곳의 높이를 고려하지 않았기 때문으로 판단된다.

5. 결과 및 고찰

5.1 단일 IKONOS 영상에서 생성한 건물모델의 정확도

표 3은 IKONOS 위성영상을 이용하여 메타정보를 적용했을 때, 정부대전청사를 기준 건물로 했을 때, 임의의 아파트를 기준 건물로 했을 때 각각 생성한 3차원 건물 모델의 수직(건물 높이) 정확도를 보여주고 있다.

표 3에서 기준높이로 사용한 건물 높이는 스테레오 IKONOS 위성영상에서 지상 기준점으로 수립한 직접 선형변환(Direct Linear Transformation)을 이용하여 추출한 높이이다. 즉, 스테레오 영상에서 동일한 건물 지붕 모퉁이로부터 직접선형변환을 이용하여 추출한 Z 좌표와 지상에서 추출한 Z 좌표와의 차이를 건물의 높이로 결정하였다. 수립된 직접선형변환은 각각의 영상에 대해서 1~3개 정도의 검사점으로 모델 수립 정확도를 알아봤으며, 그 결과, 각각의 영상에 대해서 약 1 픽셀 정도의 RMS 오차가 나타남을 확인하였다.

표 3에서 알 수 있듯이, 생성된 건물 모델의 높이 정확도 검증을 위해서 총 20개의 건물을 선택하였다. 표에서 스테레오(S)는 스테레오 IKONOS 영상에서 추출

표 3. 단일 IKONOS 영상에서 메타정보 유무에 따라 추출된 건물의 높이 정확도

ID	기준높이	추출된 건물 높이			오차		
	스테레오(S)	메타정보(M)	정부청사(D)	아파트(A)	S-M	S-D	S-A
1	19.072	21	21	20	-1.927	-1.927	-0.927
2	15.903	15	18	16	0.903	-2.096	-0.096
3	28.593	27	29	26	1.593	-0.406	2.593
4	88.802	90	93	87	-1.197	-4.197	1.802
5	42.521	43	45	41	-0.478	-2.478	1.521
6	40.594	43	45	41	-2.406	-4.406	-0.406
7	36.311	36	35	36	0.311	1.311	0.311
8	89.322	90	91	87	-0.677	-1.677	2.322
9	46.788	46	48	44	0.788	-1.211	2.788
10	28.173	27	27	25	1.173	1.173	3.173
11	95.520	96	98	95	-0.479	-2.479	0.520
12	81.182	83	85	79	-1.818	-3.818	2.182
13	17.192	18	18	17	-0.807	-0.807	0.192
14	25.329	27	25	23	-1.670	0.329	2.329
15	15.352	15	16	14	0.352	-0.647	1.352
16	42.525	45	46	42	-2.474	-3.474	0.525
17	14.844	15	16	14	-0.155	-1.155	0.844
18	17.181	17	17	17	0.181	0.181	0.181
19	15.768	16	16	14	-0.231	-0.231	1.768
20	43.950	43	45	41	0.950	-1.049	2.950
RMSE (m)					1.283	2.239	1.804

한 높이, 메타정보(M)은 주어진 메타정보를 이용해서 추출한 높이, 정부청사(D)는 정부대전청사(91.9m)를 기준으로 추출한 높이, 아파트(A)는 임의의 아파트(40m)를 기준으로 추출한 높이를 보여주고 있다. 그리고 S-M, S-D, S-A는 각각 스테레오 영상에서 추출한 높이에서 메타정보를 이용한 높이, 정부청사를 기준으로 한 높이, 임의의 아파트를 기준으로 한 높이를 빼준 결과를 나타낸다. 표에서 보면, 정부청사를 기준 건물로 하여 추출한 건물 높이의 RMS 오차가 가장 크고, 가장 큰 오차(-4.406m)도 정부청사를 기준 건물로 하여 추출한 건물 높이 중에 존재했다. 이는 헬기 착륙장으로 보이는 부분의 높이를 고려하지 않았기 때문으로 생각된다. 임의의 아파트를 기준으로 한 결과는 비교적 정확도가 높게 나왔는데, 이는 대략적으로 부여한 아파트의 높이가 실제 아파트의 높이와 유사했기 때문에 나타난 결과라고 생각된다. 위 실험 후에, 스테레오 영상에서 임의의 아파트 높이를 추출한 결과, 높이가 약 43m로 나타났다. 위 표에서도 볼 수 있듯이, 대략적인 높이를 적용한 경우에 메타정보를 사용하여 추출한 건물 높이 패턴과 유사한 패턴을 보여주고 있다.

본 연구에서는 또한 20개의 건물 중에서 5개의 건물에 대해서 수평 위치 정확도를 검증하여 보았다. 추출된 건물의 바닥 모퉁이 좌표 2개를 1:1,000 수치지형도의 대응되는 건물과 비교한 결과는 표 4와 같다.

표 4에서 ID는 표 3의 ID와 대응된다.  $x_1$ ,  $y_1$ ,  $x_2$ ,  $y_2$ 는 각각 한 모퉁이의  $x$ ,  $y$  좌표와 다른 모퉁이의  $x$ ,  $y$  좌표를 나타내고, 수치지도(R)은 1:1,000 수치지도에서 대응되는 건물의 바닥 모퉁이 수평위치 좌표를 보여준다. 이때 수치지형도는 베셀 타원체의 TM 좌표계가 사용된 것으로, 건물의 수평위치 좌표는 모두 TM 좌표로 통일하였다. 위 표에서 오차에 있는 R-M, R-D, R-A는 수치지형도의 건물 좌표에서 메타정보를 이용하여 추출한 건물 좌표, 임의의 아파트를 기준으로 하여 추출한 건물 좌표를 빼준 결과이다. 위 표에서 볼 수 있듯이, 5개 건물에 대한 수평 위치 RMS 오차는 3m 미만으로 IKONOS 영상의 공간해상도 등을 고려했을 때, 나쁘지 않은 정확도를 보여주었다고 판단된다.

위의 수평/수직 정확도를 비교해 보면, 메타정보를 사용하지 않고, 대략적인 높이로부터 산출한 정보를 적용하여 생성한 3차원 건물모델도 비교적 정확할 수 있음을 알 수 있다. 또한 3차원 건물 모델 간의 상대적인 높이 차이 패턴이 모든 경우에 유사함을 보이고 있다. 하지만, 몇 m의 오차를 보이고 있으며, 이러한 오차의 원인은 기준 건물에서 고도각 등을 계산할 때 측정하는 건물 연직선 또는 그림자의 길이에 포함된 오차, 건물 지붕 모퉁이 선택 시 발생하는 오차, 실제 지표면의 높이가 평평하지 않았을 때 발생하는 오차 등인 것으로 생각된다.

표 4. 단일 IKONOS 영상에서 메타정보 유무에 따라 추출된 건물 수평위치 정확도

ID		건물 모퉁이의 수평위치 좌표 (TM)				오차		
		수치지도(R)	메타정보(M)	정부청사(D)	아파트(A)	R-M	R-D	R-A
4	x1	234430.43	234428.28	234427.44	234430.52	2.15	2.99	-0.09
	y1	317821.09	317824.06	317822.66	317823.38	-2.97	-1.57	-2.29
	x2	234400.67	234399.70	234397.83	234399.92	0.97	2.84	0.75
	y2	317851.11	317852.50	317853.09	317852.78	-1.39	-1.98	-1.67
5	x1	233951.90	233948.42	233947.81	233949.20	3.48	4.09	2.7
	y1	318231.32	318232.97	318233.16	318232.25	-1.65	-1.84	-0.93
	x2	233863.88	233861.05	233860.45	233861.81	2.83	3.43	2.07
	y2	318243.57	318244.09	318243.25	318243.34	-0.52	0.32	0.23
7	x1	233947.11	233945.64	233945.00	233944.77	1.47	2.11	2.34
	y1	318180.35	318182.34	318183.03	318181.16	-1.99	-2.68	-0.81
	x2	233859.50	233857.28	233857.63	233857.36	2.22	1.87	2.14
	y2	318192.37	318192.44	318194.16	318193.28	-0.07	-1.79	-0.91
8	x1	234545.17	234543.02	234542.78	234544.23	2.15	2.39	0.94
	y1	317935.75	317937.50	317938.53	317937.78	-1.75	-2.78	-2.03
	x2	234515.27	234513.39	234513.16	234514.58	1.88	2.11	0.69
	y2	317965.6	317966.91	317967.94	317968.19	-1.31	-2.34	-2.59
20	x1	235015.97	235013.41	235012.81	235014.17	2.56	3.16	1.8
	y1	317372.9	317373.66	317373.81	317373.94	-0.76	-0.91	-1.04
	x2	235073.09	235070.47	235068.88	235070.25	2.62	4.21	2.84
	y2	317373.52	317373.84	317374	317373.09	-0.32	-0.48	0.43
RMSE (m)						2.01	2.57	1.73

5.2 구글어스에서 추출한 영상에서 생성한 건물 모델의 정확도

다음 표 5는 구글어스 영상에서 생성한 건물 모델의 높이 정확도를 보여주고 있다. 표에서 정부청사(C)는 스테레오 IKONOS 영상에서 추출한 정부대전청사 높이 88.8m를 적용하여 추출한 건물 높이이고, 정부청사

(D)는 정부대전청사 높이 91.9m를 적용하여 추출한 건물의 높이를 보여주고 있다. 위 표에서는 총 17개 건물에 대한 오차를 보여주고 있고, 건물 ID는 표 3과 대응된다. 여기에 없는 건물 ID의 건물은 구글어스 영상에는 없지만, IKONOS 영상에는 있는 건물이다. 위 결과에서도 알 수 있듯이, 건물 간의 상대적인 높이 차이 꽤

표 5. 메타정보 없는 단일 구글어스 영상에서 추출된 건물 높이 정확도

ID	기준높이	추출된 건물 높이			오차		
	스테레오(S)	정부청사(C)	정부청사(D)	아파트(A)	S-C	S-D	S-A
1	19.072	19	19	19	0.072	0.072	0.072
3	28.593	27	29	27	1.593	-0.406	1.593
4	88.802	88	92	91	0.802	-3.197	-2.197
5	42.521	43	44	44	-0.478	-1.478	-1.478
6	40.594	44	45	44	-3.406	-4.406	-3.406
7	36.311	35	34	33	1.311	2.311	3.311
8	89.322	89	94	90	0.322	-4.677	-0.677
9	46.788	45	49	43	1.788	-2.211	3.788
10	28.173	29	30	28	-0.826	-1.826	0.173
11	95.520	94	91	92	1.520	4.520	3.520
12	81.182	82	85	79	-0.818	-3.818	2.182
14	25.329	23	22	24	2.329	3.329	1.329
15	15.352	14	15	15	1.352	0.352	0.352
16	42.525	44	39	41	-1.474	3.525	1.525
18	17.181	18	17	16	-0.818	0.181	1.181
19	15.768	18	19	18	-2.231	-3.231	-2.231
20	43.950	43	44	43	0.950	-0.049	0.950
RMSE (m)					1.574	2.921	2.174

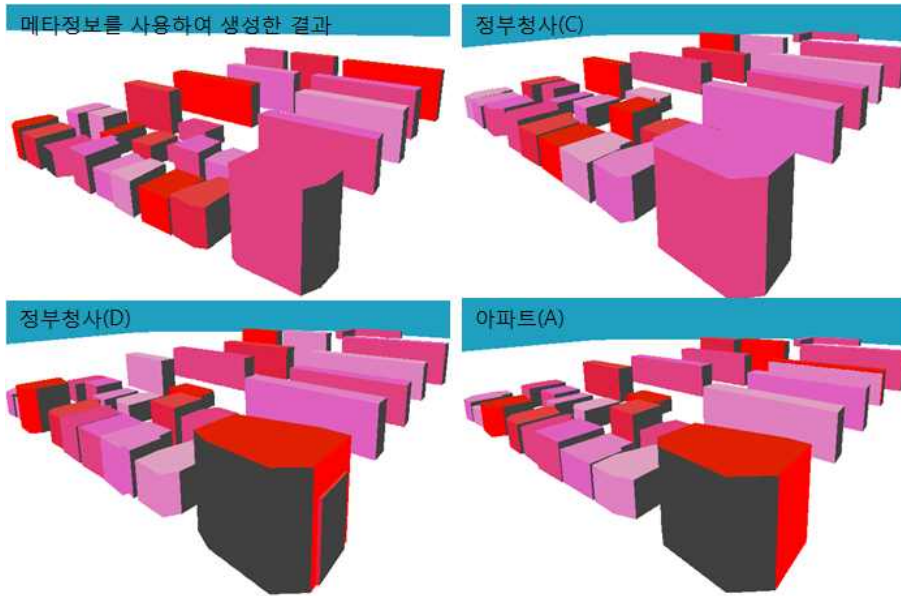


그림 5. 기존 방법과 제안된 방법으로 생성한 건물 모델 결과

턴이 모두 유사하다.

구글어스 영상의 경우에는 추출한 영상의 범위가 작아서 센서모델을 수립할 정도의 지상 기준점을 확보하지 못하여 수평 위치 오차를 알아보지 않았다. 그림 5는 메타정보와 IKONOS 영상을 이용해서 생성한 건물 모델과 표 5의 C, D, A 경우에 따라서 생성한 건물 모델을 보여주고 있다. 이 그림에서 각각의 경우에 따라서 생성한 건물 모델들의 상대적인 높이 차이가 시각적으로도 유사함을 확인할 수 있다. 즉, 메타정보가 없어도 시각적으로는 실제계와 유사한 높이 패턴을 갖는 건물 모델을 생성하는 것이 가능하다는 것을 보여준다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 기존의 단일 고해상도 영상으로부터 건물 그림자와 연직선을 이용한 3차원 건물 추출 방법을 기반으로 메타정보가 없는 고해상도 영상에서도 3차원 건물 모델을 생성하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 기존방법에서 필요로 하는 센서와 태양의 방위각 및 고도각을 사용자가 선택한 기준건물의 바닥 모퉁이, 그림자 끝, 지붕 모퉁이 좌표와 사용자가 부여한 기준건물 높이값을 이용하여 추정하였다. 제안된 방법을 검증하기 위해서 본 연구에서는 IKONOS 영상에서 기준건물을 선택하고, 정확한 높이값과 대략적인 높이값으로부터 추정한 센서와 태양의 방위각 및 고도각을 이용하여 기존방법으로 건물의 3차원 정보를 추출하고

이를 스테레오 IKONOS 영상에서 추출한 높이와 비교하여 보았으며, 1:1000 수치지형도의 수평 위치 좌표와도 비교하여 보았다. 이때, 20개 건물에 대한 높이 RMS 오차는 3m 미만이었으며, 5개 건물에 대한 수평 위치 RMS 오차는 3m 미만이었다. 또한 메타정보를 갖고 있지 않은 구글어스 영상에 대해서도 제안된 방법을 적용하여 추출한 건물 높이값을 스테레오 IKONOS 영상에서 추출한 건물 높이와 비교하여 보았다. 그 결과, 구글어스 영상에서 추출한 17개의 건물 높이에 대한 RMS 오차는 3m 미만이었다. 실제 메타정보를 사용하여 추출한 건물 모델은 본 연구에서 제안된 방법으로 생성한 건물 모델과 육안으로 비교했을 때 유사한 높이 패턴을 보여 주었다. 이와 같은 결과를 통해서 제안된 방법이 메타정보가 없는 고해상도 영상에서도 비교적 정확도가 높은 건물 모델을 생성할 수 있으며, 부여된 기준건물 높이에 따라서 정확도가 다소 낮더라도, 실제 건물들 간의 상대적인 높이 차이 패턴과 유사한 패턴을 갖는 건물 모델들을 생성할 수 있음을 확인하였다.

제안된 방법은 구글어스의 위성영상에 대해서만 적용하여 보았으나 구글어스에는 항공사진도 포함되어 있고, 또한 여러 종류의 위성영상이 모자이크 영상으로 합쳐져 있다. 따라서 향후 메타정보가 없으며, 다양한 종류의 위성영상 및 항공사진에 대한 적용, 모자이크 영상에서 경계 부분 건물에 대한 처리 등을 추가적으로 연구할 필요가 있다고 생각한다.



### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C03)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

- 오재홍, 신성웅, 박진호, 이효성, 2007, 3차원 도시 모델 생성을 위한 다중 공간영상 기반 건물 모델 텍스처 추출, *한국측량학회지*, 제25권, 제4호, pp.347-354.
- 위광재, 김은영, 윤홍식, 강인구, 2007, 멀티센서 데이터를 이용한 건물의 3차원 모델링 기법 개발 및 평가, *한국측량학회지*, 제25권, 제1호, pp.19-30.
- 이태윤, 김태정, 임영재, 2006, "단일 고해상도 위성영상으로부터 그림자를 이용한 3차원 건물정보 추출", *한국지형공간정보학회지*, 제14권, 제2호, pp.3-13.
- 정성혁, 이재기, 2008, 디지털 영상자료를 이용한 3D GIS의 사실적 모델링 및 가시화, *한국측량학회지*, 제26권, 제1호, pp.73-83.
- Bohn, J., 2004, Multi-image Fusion for Occlusion-Free Facade Texturing, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol.35, No.5, pp.867-872.
- Fruh, C. and Zakhor, A., 2003, Constructing 3D city models by merging aerial and ground views, *IEEE computer graphics and applications*, Vol.23, No.6, pp.52-61.
- Frueh, C., Sammon, R. and Zakhor, A., 2004, Automated texture mapping of 3D city models with oblique aerial imagery, *Proceedings of the 2nd International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission*, pp.396-403.
- Lafarge, F., Descombes, X. and Zerubia, J. 2008, Automatic building extraction from DEMs using an object approach and application to the 3D-city modeling, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol.63, No.3, pp.365-381.
- Zhang, Z., Wu, J., Zhang, Y., Zhang, Y. and Zhang, J., 2003, Multi-view 3D city model generation with image sequences, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol.34, No.5, pp.351-356.
- 정부청사관리소, 2009, <http://www.chungsa.go.kr/chungsa/cms/1/3/7.html>
- Google 어스, 2009, <http://earth.google.com/>