

# 단일 고해상도 위성영상으로부터 그림자를 이용한 3차원 건물정보 추출 Extraction of 3D Building Information using Shadow Analysis from Single High Resolution Satellite Images

이태윤\* · 김태정\*\* · 임영재\*\*\*

Lee, Tae Yoon · Kim, Tae Jung · Lim, Young Jae

## 요 旨

고해상도 위성영상으로부터 건물이나 도로 등 인공지물의 정보를 추출하기 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 영상에서 3차원 건물 정보를 추출하기 위해서 기존의 많은 연구들은 스테레오 영상이나 별도의 지상기준점, 또는 LIDAR 데이터 등을 사용하고, 센서모델링 등을 수행하였다. 이 연구에서는 단일 영상만을 이용하고, 센서모델링 등의 복잡한 과정을 거치지 않고 직접 건물의 3차원 정보를 추출하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 영상에 나타난 건물의 실제 그림자와 가상으로 영상 위에 투영시킨 그림자가 일치했을 때, 건물의 높이를 결정하고, 결정된 건물의 높이를 이용하여 건물 정면의 모서리 선을 생성한다. 생성된 모서리 선을 따라서 건물의 지붕 외곽선을 이동시켜서 건물의 위치 정보를 얻어낸다. 제안된 알고리즘은 지표면의 그림자를 이용한 방법과 다른 건물의 정면에 나타난 그림자를 이용한 방법으로 나누어진다. 제안된 알고리즘을 검증하기 위해서 IKONOS 스테레오 영상과 지상기준점을 이용하여 추출한 건물 높이와 제안된 알고리즘을 이용하여 추출한 건물 높이를 비교하였으며, 30개의 건물을 검증해 본 결과 추출된 건물 높이의 RMSE는 약 1.5m로 나타났다.

**핵심용어** : 단일 위성 영상, 건물 추출, 건물의 Footprint, 건물의 높이, 그림자

## Abstract

Extraction of man-made objects from high resolution satellite images has been studied by many researchers. In order to reconstruct accurate 3D building structures most of previous approaches assumed 3D information obtained by stereo analysis. For this, they need the process of sensor modeling, etc. We argue that a single image itself contains many clues of 3D information. The algorithm we propose projects virtual shadow on the image. When the shadow matches against the actual shadow, the height of a building can be determined. If the height of a building is determined, the algorithm draws vertical lines of sides of the building onto the building in the image. Then the roof boundary moves along vertical lines and the footprint of the building is extracted. The algorithm proposed can use the shadow cast onto the ground surface and onto facades of another building. This study compared the building heights determined by the algorithm proposed and those calculated by stereo analysis. As the results of verification, root mean square errors of building heights were about 1.5m.

**Keywords** : Single satellite image, building extraction, building footprint, building height, shadow

## 1. 서 론

3차원 도심 모델이나 3차원 지도는 지리정보 시스템과 결합하여 공간분석에 유리한 정보를 제공할 수 있으며, 도심계획, 비행 시뮬레이션, 환경 시뮬레이션, 텔레매틱스(Telematics) 등의 분야에서도 활용할 수 있다. 미국은 2000년도에 우주왕복선 엔데버호(Endeavour)를 이용하

여 3차원 전세계 지도 구축에 필요한 데이터를 수집하였으며, 수집된 정보를 이용하여 3차원 지형도를 구축하였다(NASA, 2005). 우리나라의 국토지리정보원에서는 국토 정보화 종합계획의 하나로 3차원 수치지도 구축 계획을 갖고 있다(연합뉴스, 2005). 또한 앞으로 공간해상도 1m의 고해상도 위성영상을 획득할 수 있는 KOMPSAT-2가 발사될 예정 이다. KOMPSAT-2가 발사되면, 이로부터

2006년 2월 16일 접수, 2006년 4월 6일 채택

- \* 정희원·기상연구소 원격탐사연구실 (intotime@metri.re.kr)
- \*\* 교신저자·정희원·인하대학교 지리정보공학과 교수 (tezid@inha.ac.kr)
- \*\*\* 한국전자통신연구원 공간정보연구팀 (yjlim@etri.re.kr)

터 획득한 데이터를 이용한 3차원 정보 취득 연구들이 활발하게 이루어질 것으로 기대된다.

3차원 도심 모델이나 지도를 생성하기 위해서는 지형 지물에 대한 3차원 정보가 필요하다. 건물은 지형지물의 주요한 객체 중에 하나로서, 이전부터 많은 연구자들은 항공사진이나 위성영상으로부터 건물의 3차원 정보를 추출하기 위한 연구를 수행하여 왔다. 이 중에서 많은 연구들이 스테레오 영상을 정합(matching)하여 Digital Elevation Model(DEM)을 생성하고, 생성한 DEM을 이용하여 3차원 건물 정보를 추출하였다(Baillard and Maitre, 1999; Cord and Declercq, 2001; Fradkin et al., 2001; Kim and Muller, 1996; Kim and Muller, 1998; Paparoditis et al., 1998). 단일 영상을 이용하여 건물의 정보를 추출하려는 연구도 수행되어왔다(예철수와 이쾌희, 2000; Irvin et al., 1989; Kim and Muller, 1999; Lin and Nevatia, 1998; Liow and Pavlidis, 1990). 단일 영상을 이용한 연구들은 건물의 높이를 추정하거나 건물 가설(Hypothesis)을 생성, 건물 가설 검증 등에 건물의 그림자를 이용하였다. 최근에는 다양한 센서의 발전으로 다른 종류의 센서 데이터를 영상과 융합 시켜서 3차원 건물 정보를 추출하는 연구들이 수행되고 있다(Haithcoat et al., 2001; Kim and Muller, 2002; Kim and Nevtia, 2004; Suverg and Vosselman, 2000). Light Detection and Ranging (LIDAR)와 영상을 융합하여 건물 정보를 추출하는 방법(Haithcoat et al., 2001; Kim and Muller, 2002)이 대표적인 예이다.

항공사진 및 고해상도 위성영상에서 건물 정보를 추출하기 위한 연구들은 대부분 건물의 지붕을 추출하기 위해서 노력해왔다(예철수와 이쾌희, 2000; Baillard and Maitre, 1999; Cord and Declercq, 2001; Fradkin et al., 2001; Irvin et al., 1989; Kim and Muller, 1999; Kim and Nevatia, 2004; Lin and Nevatia, 1998; Liow and Pavlidis, 1990; Noronha and Nevatia, 2001; Paparoditis et al., 1998; Rau and Chen, 2003; Robert et al., 1998; Sohn et al., 2005; Ye and Lee, 2002). 건물의 실제 위치를 나타내는 것은 건물의 바닥(Footprint) 정보이다. 영상에서 건물 바닥 정보를 추출하는 것은 건물 지붕 정보를 추출하는 것에 비해서 어려운 작업이다. 이와 관련해서 비교적 적은 수의 연구(Haverkamp, 2004; Shackelford et al., 2004; Haithcoat et al., 2001) 들이 수행되어왔다.

이처럼 기존의 연구들은 스테레오 영상이나 다른 데이터와의 융합을 이용하고, 복잡한 방법을 수행하여 건물 정보를 추출하였다. 또한 건물 바닥 정보보다는 건물 지붕 정보를 추출하여왔다. 본 연구에서는 단일 고해상도 영상만을 이용하여 건물의 3차원 정보를 추출하려고 한다. 이를 위해서 그림자를 이용한 건물의 3차원 정보 추

출 알고리즘을 제안한다. 여기서 건물의 3차원 정보는 건물의 바닥 위치와 건물 높이를 의미한다. 알고리즘을 검증하기 위해서 IKONOS 스테레오 영상에서 추출한 건물의 높이와 제안된 알고리즘으로 추출한 건물의 높이를 비교하여 보았다.

## 2. 그림자를 이용한 건물의 3차원 정보 추출

본 연구에서 제안된 알고리즘은 가상의 그림자와 건물 높이에 따른 건물 정면의 모서리 선을 이용한다. 그림자와 건물 정면의 모서리 선을 생성하기 위해서는 영상을 촬영할 당시의 센서 방위각(Grodecki and Dial, 2001)과 고도각, 태양의 방위각과 고도각 등이 필요하다. 이러한 정보는 위성영상의 메타 정보에 포함되어 있다.

본 논문에서 제안한 그림자를 이용한 건물의 3차원 정보 추출 알고리즘은 크게 지표면 위에 생성된 그림자를 이용한 방법과 그림자를 가진 건물 정면에 생성된 그림자를 이용한 방법으로 나누어진다.

### 2.1 지표면 위에 생성된 그림자를 이용한 방법

일반적으로 건물의 그림자는 지표면 위에 나타나게 된다. 고해상도 위성영상 위에 가상의 그림자를 투영시킨다. 그림자를 투영시킬 건물의 지붕 외곽선은 수동으로 선택한다. 투영된 그림자는 건물의 높이를 조절하는 것에 의해서 그 길이가 조절될 수 있다. 건물의 높이를 증가/감소시키면서 영상 위에 나타난 건물의 실제 그림자와 투영된 그림자가 일치하는지 여부를 판단한다. 실제 그림자와 투영된 그림자가 일치한다면, 이때의 높이가 실제의 건물 높이로 결정된다. 건물의 높이가 결정되면, 높이에 따른 건물 모서리 선을 생성시킬 수 있다. 생성된 모서리 선을 따라서 건물의 지붕 외곽선을 이동시키면, 이때 이동한 건물의 지붕 외곽선은 건물의 바닥 외곽선이 된다. 지표면 위에 생성된 그림자를 이용한 방법의 전체적인 과정은 그림 1처럼 나타낼 수 있다.

그림 1에서 영상의 방위각은 영상의 세로축과 실제 북쪽 방향간의 차이를 나타내는 각도이다. 영상 위에 그림자를 투영시키거나 건물 모서리 선을 생성하기 위해서는 그림자와 건물 모서리 선의 방향을 결정해야만 한다. 이는 메타 정보에 있는 태양의 방위각과 센서의 방위각을 이용하여 결정할 수 있다. 그림자는 태양과 정반대에 위치하게 되므로, 태양의 방위각에  $180^\circ$ 를 더하여 그림자의 방위각을 구할 수 있다. 하지만, 영상에서 태양과 센서의 방위각을 적용시키기 위해서는 영상에서 방위각의 기준이 되는 실제 북쪽을 알아야 한다(그림 2). 따라서 본 연구에서는 메타 정보에 있는 영상 네 모퉁이의 경위

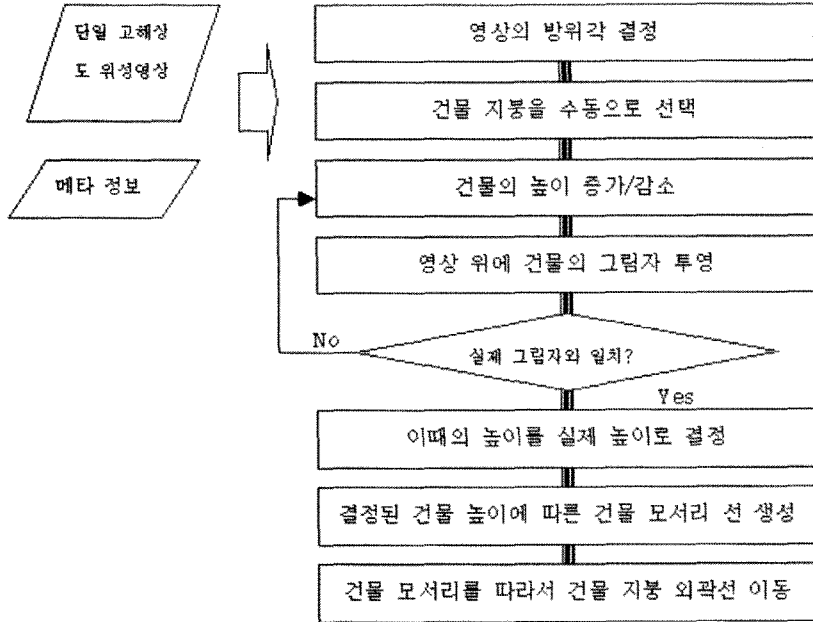


그림 1. 지표면 위에 생성된 그림자를 이용한 3차원 정보 추출 과정

도 좌표를 이용하여 영상의 방위각을 계산하고, 계산된 영상의 방위각을 그림자와 건물 모서리 선의 방향을 결정하는 데 이용하였다.

건물의 높이와 위성영상에 투영될 그림자의 길이, 건물 모서리 선의 길이는 아래의 식 (1)로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 SL &= \frac{H}{\tan(Elevation_{sun})} \\
 &= \frac{VL \times \tan(Elevation_{satellite})}{\tan(Elevation_{sun})}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

위 식 (1)에서 SL은 그림자의 길이, H는 건물의 실제 높이, VL은 건물 모서리의 길이, Elevation은 고도각을 나타낸다. 따라서 센서 방위각과 고도각, 건물의 높이를 이용하면, 영상 위에 건물의 모서리 선을 생성할 수 있다. 또한 태양의 방위각과 고도각, 건물의 높이를 이용하면, 영상 위에 투영할 그림자를 생성할 수 있다. 이때 위의 수식은 영상면과 지상면이 서로 평행함을 가정한 공식이다. 실험에 사용한 IKONOS 영상은 기하보정된 영상이므로 이 가정을 이용하였다. 그림 3에서 영상면이 지표면과 평행하다면 건물 모서리의 길이 VL은 그림 3에서 a와 같고 VL = H/tan(Elevation<sub>satellite</sub>)이 된다.

그림 3에서 점선으로 표현한 것과 같이 영상이 경사촬영되었다면, 건물 모서리 선의 길이 VL은 VL = H\*cos

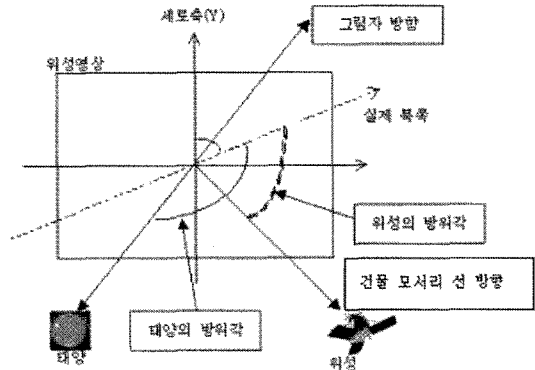


그림 2. 건물 모서리 선과 그림자 방향 결정

(Elevation<sub>satellite</sub>)이 되고, 그림 3에서는 b와 같다. 그림자의 길이 또한 이와 유사하게 나타낼 수 있다. 영상면과 지상면이 서로 평행하지 않을 경우는 위의 수식을 새로운 공식에 맞추어 적용할 수 있다.

지표면 위에 생성된 건물 그림자를 이용한 방법을 IKONOS 영상에 적용해 본 결과는 그림 4와 같다. 그림 4에서 왼쪽 그림은 알고리즘을 적용하기 전이고, 오른쪽 그림은 알고리즘을 적용하여, 투영된 가상의 그림자와 실제 그림자가 일치했을 때를 보여주고 있다.

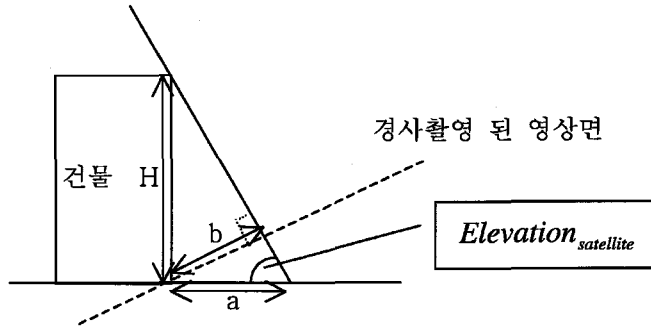


그림 3. 건물 모서리 선과 영상면 및 지상면의 관계

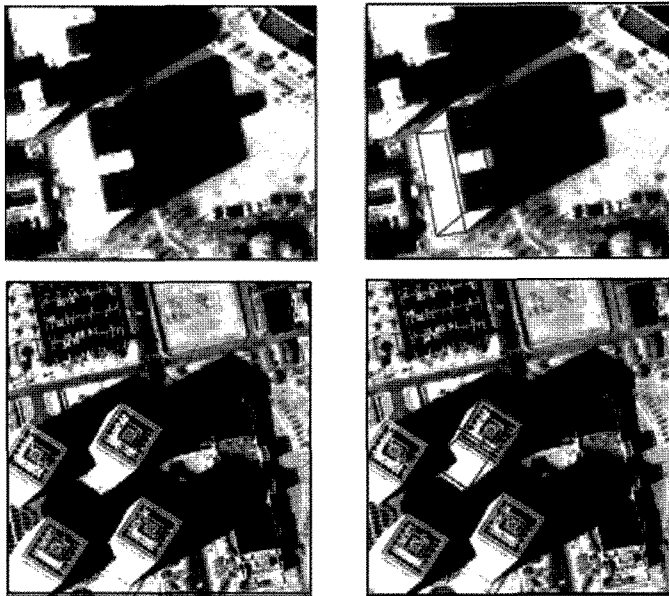


그림 4. 지표면 위에 생성된 건물 그림자를 이용한 방법 적용 결과

## 2.2 건물 정면에 생성된 그림자를 이용한 방법

건물의 그림자는 지표면 위에 생성되지만, 건물이 밀집한 곳에서는 지표면 위에 생성된 그림자가 다른 건물에 의해서 가려지게 된다. 이때, 그림자를 가린 건물 정면에 가려진 그림자의 일부분이 보인다면, 지표면에 나타난 그림자를 이용한 방법과 동일한 방식으로 건물의 3차원 정보를 추출할 수 있다. 즉, 건물에 대한 가상의 그림자를, 그림자를 가리고 있는 건물 정면에 투영시켜서 건물 정면에 있는 그림자와 투영된 그림자가 일치했을 때, 건물의 높이를 결정한다. 그리고 결정된 높이를 이용해서 건물의 모서리 선을 생성하고 이로부터 건물의 바닥 외곽선을 추출한다. 그림 5는 이와 같은 과정을 보여주고 있다.

건물 정면에 생성된 그림자를 이용한 방법을 적용하기 위해서는 지표면으로 그림자를 투영시켜서 3차원 건물 정보를 추출하는 과정에서 지표면에 투영된 그림자가 다른 건물에 의해서 가려졌는지 판단해야 한다. 그러기 위해서는 먼저 그림자를 가리고 있는 건물의 3차원 정보를 추출해야 한다. 본 연구에서는 그림자가 다른 건물에 가려졌는지 여부를 결정하기 위해서 Greiner-Hormann Polygon Clipping 알고리즘을 이용하였다(Agoston, 2005). 투영된 그림자와 그림자를 가리는 건물의 바닥 외곽선은 모두 폴리곤으로 간주할 수 있다. 따라서 두 폴리곤 간의 겹치는 부분의 좌표를 Greiner-Hormann 알고리즘을 이용하여 결정할 수 있다. 그림 6에서처럼, 그림자 폴리곤이 건물 바닥 폴리곤과 겹쳐지게 되면, 이때의 그림자는

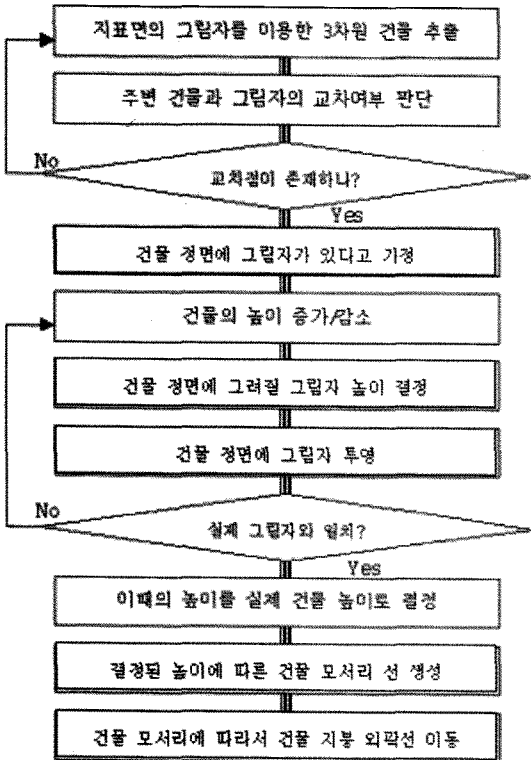


그림 5. 건물 정면 그림자 기반 건물 정보 추출

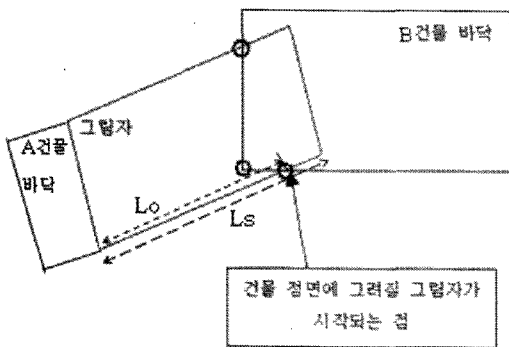


그림 6. 그림자를 가리는 건물 결정

폴리곤이 겹쳐진 건물에 의해서 가려지는 것으로 판단한다. 이때 겹쳐지는 부분의 좌표는 건물 정면에 그려질 그림자의 시작점이 된다.

그림자를 가리는 건물이 결정되면, 두 건물과 가려진 그림자와의 관계를 이용하여, 건물 정면에 생성될 그림자의 길이를 계산할 수 있다.

식 (2)는 그림 7에서의 관계를 보여주고 있다. 이를 이용하여 건물 정면에 그려질 그림자의 높이  $H_s$ 를 계산할

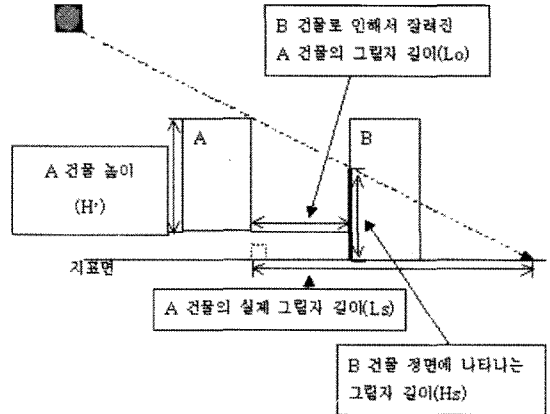


그림 7. 건물 정면에 생성될 그림자 길이 결정

수 있다. 그림 7에서 A 건물과 B 건물은 동일한 지표면 위에 있고, 이때 지표면은 평평해야 한다. 그림에서 A 건물의 바닥이 아직 지표면과 만나지 않은 것은 A 건물의 높이가 실제 건물 높이로 결정되지 않았기 때문이다. 즉, 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 건물의 지붕 외곽선을 추출하고, 추출된 지붕 외곽선으로부터 건물의 높이를 조금씩 증가시키고, 그에 따른 그림자 및 건물 모서리 선을 그려나가게 된다. 따라서 실제 건물의 높이가 결정되지 않았기 때문에 A 건물의 바닥 위치도 아직 결정되지 못한 상태가 되어서 그림 7과 같이 보이게 된다.

$$H_s = \frac{H'(L_s - L_o)}{L_s} \quad (2)$$

식 (2)에서  $L_s$ 는 건물 A의 실제 그림자 길이이고,  $L_o$ 는 건물 A와 건물 B 각각의 바닥 외곽선으로부터 계산한 잘려진 그림자의 길이이다(그림 6).  $L_s$ 와  $L_o$ 는 A 건물에서 증가시키고 있는 건물의 높이에 따른 그림자와 그때의 A 건물 임시 바닥 외곽선, 이미 추출된 정보로 그려진 B 건물의 바닥 외곽선을 이용하여 계산할 수 있다.

지표면에 그림자를 투영하다가 그림자를 가리는 건물의 바닥 외곽선과 만나면, 위와 같은 방법을 이용하여 그림자와 다른 건물의 바닥 외곽선이 만난 지점부터는 건물 정면으로 그림자를 투영시킨다.

그림 8은 건물 정면에 나타난 그림자를 이용한 3차원 건물 정보 추출 방법을 IKONOS 영상에 적용해본 결과를 보여주고 있다.

### 2.3 알고리즘의 제약사항

본 논문에서 제안된 알고리즘은 건물의 그림자를 사용하기 때문에 크게 두 가지 제약사항이 존재한다. 첫 번째

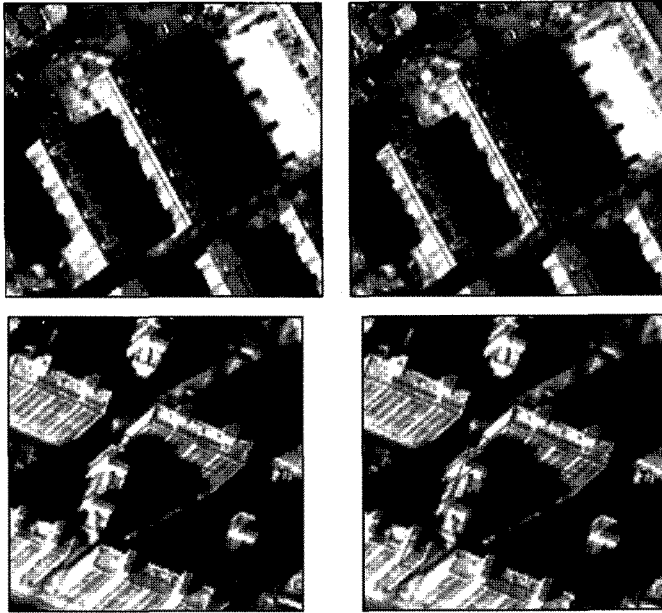


그림 8. 건물 정면에 나타난 그림자를 이용한 방법 적용 결과

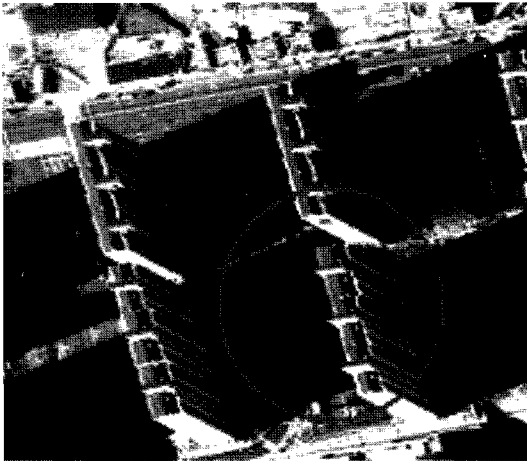


그림 9. 그림자 끝의 식별 불가

제약사항은 건물과 그림자가 있는 지표가 평평해야 한다는 것이다. 그림자는 지표의 고도 차이에 따라서 형태가 변하거나 그림자 길이가 달라지게 된다. 따라서 지표가 평평하지 못한 곳의 건물 그림자에 대해서 제안한 알고리즘을 적용하면, 큰 오차가 발생하게 된다. 본 논문에서는 육안으로 건물과 그림자가 있는 지표면이 평평하다고 판단되는 건물에 대해서만 검증을 수행하였다.

두 번째 제약사항은 그림자 끝 부분의 식별이 가능해

야 한다는 것이다. 그림 9의 경우처럼, 건물이 그림자를 가리고 있으면서, 그림자 끝을 식별할 수 없다면, 제안된 알고리즘을 적용할 수 없다. 이런 경우에는 3차원 정보를 추출하고자 하는 건물과 비슷한 높이의 주변 건물로부터 추출한 건물 높이를 적용하는 방법이 한가지 해결 방법이 될 수 있을 것이다.

### 3. 실험 및 검증결과

#### 3.1 사용된 데이터

본 연구에서 제안한 알고리즘을 검증하기 위해서 사용된 영상은 IKONOS 스테레오 위성영상이다(그림 10). 사용된 영상은 2001년 11월에 대전지역을 촬영한 것이다.

표 1은 IKONOS의 메타 정보 중에서 제안된 알고리즘에 사용되는 정보를 보여주고 있다. 여기서 센서의 방위각은 메타 정보에는 Nominal Collection Azimuth로 표현된 값이다.

오른쪽 영상에서는 건물의 그림자가 다른 건물에 가려질 때, 그림자의 끝을 식별할 수 없다(그림 9). 따라서 본 연구에서는 왼쪽 영상에서 추출한 건물 높이만을 검증하였다.

#### 3.2 검증방법

제안된 알고리즘을 검증하기 위해서 본 연구에서는

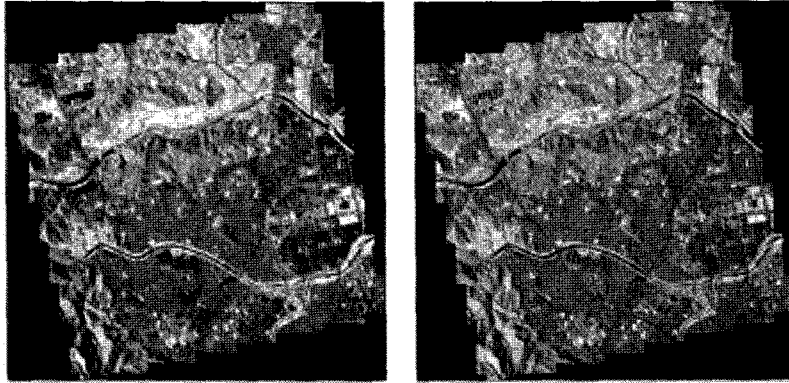


그림 10. IKONOS 스테레오 영상

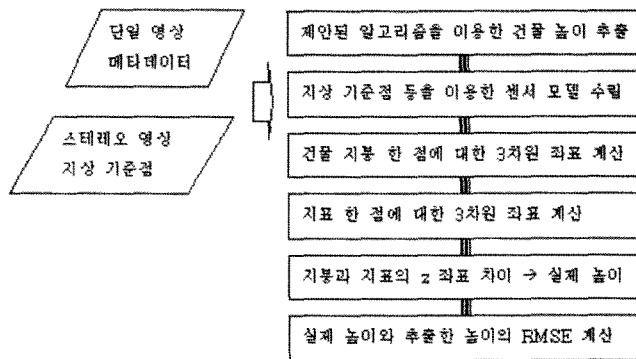


그림 11. 검증 과정

표 1. 메타 정보 중에서 제한된 알고리즘에 사용되는 정보

	왼쪽 영상	오른쪽 영상
센서의 방위각(°)	151.8080	46.0332
센서의 고도각(°)	69.55422	66.50039
태양의 방위각(°)	164.1390	163.8771
태양의 고도각(°)	32.80824	32.75480

표 2. 센서모델 수립 정확도

	모델링에 사용된 기준점의 개수	검사점의 수	독립적 성능 실험 (RMSE: Pixel 단위)
왼쪽 영상	7	6	0.837898
	8	5	0.851031
	9	4	0.936147
오른쪽 영상	7	6	0.899622
	8	5	0.930646
	9	4	1.032960

IKONOS 스테레오 영상과 지상 기준점을 이용하여 추출한 건물 높이와 제안된 알고리즘으로 추출한 건물 높이를 비교하여 보았다. 이때, 스테레오 영상에서 추출한 건물 높이를 실제 건물 높이로 가정하였다.

그림 11은 검증하는 과정을 나타낸 것이다. 그림 11에서처럼, 스테레오 영상에서 건물 높이를 추출하기 위해서 먼저, 지상 기준점을 이용하여 센서모델을 수립하였다. 이때 사용된 센서모델은 직접선형변환(Direct Linear Transformation) 이다. 지상 기준점은 총 13개를 사용하였으며, 두 영상에 대한 13개의 접합점(Tie point)를 사용하였다. 수립된 센서모델의 정확도는 표 2와 같다. 표 2에서 알 수 있듯이 수립된 센서 모델의 정확도는 높지 않다. 하지만, 제안된 알고리즘 정확도의 비교 검증에는 사용할 수 있다고 판단하였다. 본 연구에서는 수립된 센서 모델을 이용하여 지표면 픽셀과 건물 지붕 픽셀의 3차원 좌표를 추출하였다. 그리고 3차원 좌표 중에서 지표면과 건물 지붕의 Z 좌표의 차이를 건물의 높이로 계산하였다.

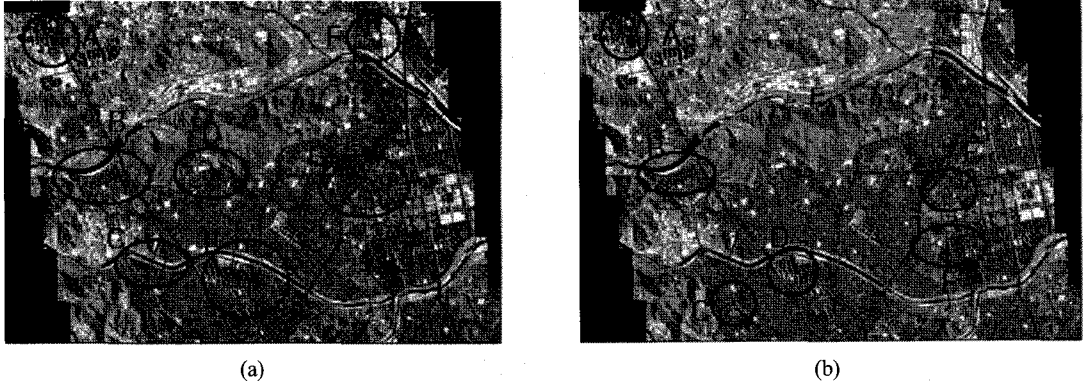


그림 12. 지표면에 생긴 그림자 기반 방법 검증 지역(a), 건물 정면에 생긴 그림자 기반 방법 검증 지역(b)

이런 방식으로 제안된 알고리즘에서 지표면 위에 생성된 건물 그림자를 이용한 방법에 대해서 30개의 건물 높이를 검증하였고, 다른 건물의 정면에 생성된 그림자를 이용한 방법에 대해서도 30개의 건물 높이를 추출하여 검증하였다. 영상에서 검증에 필요한 건물을 추출한 지역은 그림 12와 같다. 검증에는 영상으로부터 임의의 지역을 선정하고, 이 지역에서 평평하다고 육안으로 판단되는 지표면 위의 건물만을 선택하였다.

### 3.3 검증 결과 및 분석

표 3은 지표면 위에 생성된 그림자를 이용한 방법으로 추출한 건물 높이의 정확도를 보여주고 있다. 가장 큰 오차는  $-2.2802\text{m}$ 이고, 30개의 건물에 대한 RMSE는  $1.2010\text{m}$ 이다. 표 4는 그림자를 가린 건물 정면에 생성된 그림자를 이용한 방법으로 추출한 건물 높이의 정확도를 보여주고 있다. 가장 큰 오차는  $2.8596\text{m}$ 이고, 30개의 건물에 대한 RMSE는  $1.4922\text{m}$ 이다.

표 3의 결과를 보면, B, E, G 지역의 몇 개의 건물들을 제외하고, 대부분의 건물이 약  $1\text{m}$ 의 오차를 갖고 있었다. 따라서 지표면 위에 생성된 건물 그림자를 이용한 방법은 비교적 정확도가 높다고 판단되었다. 건물 정면에 생성된 그림자를 이용한 방법은 지표면에 생성된 그림자를 이용한 방법 보다 정확도가 떨어졌다(표 4). 표 4를 보면, B 지역의 대부분의 건물들은 약  $1\text{m}$  이하의 오차를 보였으나, E 지역의 건물들은 약  $2\text{m}$ 의 오차를 보여주고 있다.

이러한 오차의 가장 큰 원인은 환경에 의해서 변형된 그림자의 높이로 생각된다. 즉, 영상에서 육안 판독으로 평평한 지표면 위에 건물의 그림자가 있는 건물을 선택하였지만, 육안 상으로도 판단하기 어려운 지표면 고도 변화로 인해서 그림자의 길이가 달라진 것이 가장 큰 원

인으로 생각된다. 그림자를 가린 건물 정면에 생성된 그림자를 이용한 방법의 경우에는 지표면에 생성된 그림자를 이용한 방법에 비해서 오차가 크며, 지역에 따라서  $2\text{m}$  이상의 오차를 보이는 곳도 있었다. 그림자를 가린 건물 정면에 생성된 그림자를 이용한 방법은 위와 같은 원인 외에도 기존에 추출한 정보에 포함된 오차의 영향이 또 다른 오차의 원인으로 생각된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 단일 고해상도 위성영상과 건물의 그림자를 이용하여 건물의 3차원 정보를 추출하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 영상 위에 가상의 그림자를 투영 시켜서, 투영된 그림자와 실제 그림자와의 일치 여부를 판단하여, 그에 따른 건물 높이를 결정하고, 건물 높이를 이용하여 생성된 건물 모서리 선을 이용하여 건물의 바닥 위치를 결정한다. 따라서 제안된 알고리즘은 기존의 많은 연구들과는 달리 영상으로부터 간단한 방법으로 건물의 바닥 위치를 추출할 수 있었다. 본 논문에서는 제안된 알고리즘의 검증을 위해서 스테레오 영상에서 추출한 건물 높이와 비교하여 보았다. 그 결과 지표면 위에 생성된 그림자를 이용한 방법의 경우에는 30개의 건물에 대한 RMSE가 약  $1.2\text{m}$ 였고, 다른 건물 정면에 생성된 그림자를 이용한 방법의 경우에는 30개의 건물에 대한 RMSE가 약  $1.5\text{m}$ 였다. 이러한 결과는 제안된 알고리즘이 비교적 정확하다는 것을 보여주는 것이다. 하지만, 보다 정확한 검증을 위해서는 실측을 통해서 얻은 건물 높이와 비교해야 할 것으로 판단된다.

제안된 알고리즘은 건물의 그림자를 이용하기 때문에 건물의 그림자가 평평한 지표면 위에 있어야 하고, 그림자의 끝이 식별 가능해야 한다는 제약이 있었다. 평평한



표 3. 지표면에 생성된 그림자를 이용한 방법으로 추출한 건물 높이 검증 결과

지역	건물ID	알고리즘으로 추출한 건물 높이(m)	스테레오 영상에서 추출한 건물 높이(m)	오차(m)
A	1	57	56.6510	-0.3490
	2	12	10.9950	-1.0050
	3	50	49.3116	-0.6884
B	1	30	31.7507	1.7507
	2	5	3.0721	-1.9279
	3	30	31.7571	1.7571
	4	41	41.2609	0.2609
C	1	36	36.3769	0.3769
	2	8	6.2682	-1.7318
	3	15	15.9163	0.9163
D	1	14	14.1700	0.1700
	2	23	23.7111	0.7111
	3	32	31.6981	-0.3019
E	1	44	44.4783	0.4783
	2	50	47.7198	-2.2802
	3	18	19.0895	1.0895
	4	25	23.9220	-1.0780
F	1	93	94.5190	1.5190
	2	21	21.9596	0.9596
	3	80	81.3447	1.3447
	4	53	52.2303	-0.7697
G	1	101	103.1444	2.1444
	2	20	20.6635	0.6635
	3	16	17.5682	1.5682
	4	35	36.3682	1.3682
	5	84	84.0874	0.0874
	6	38	37.8525	-0.1475
	7	16	17.5092	1.5092
	8	16	17.4126	1.4126
	9	64	63.5498	0.2027
Total	30	RMSE		1.2010

표 4. 건물 정면에 생성된 그림자를 이용한 방법으로 추출한 건물 높이 검증 결과

지역	건물ID	알고리즘으로 추출한 건물 높이(m)	스테레오 영상에서 추출한 건물 높이(m)	오차(m)
A	1	61	62.9180	1.9180
	2	63	61.5695	-1.4305
	3	60	59.6685	-0.3315
B	1	40	39.6982	-0.3018
	2	41	41.1782	0.1782
	3	41	41.2271	0.2271
	4	41	41.2101	0.2101
	5	42	42.7927	0.7927
	6	42	42.8667	0.8667
	7	41	41.3009	0.3009
	8	44	44.3939	0.3939
	9	43	44.4487	1.4487
	10	44	44.4359	0.4359
C	1	42	44.4859	2.4859
	2	43	42.9179	-0.0821
	3	46	44.4889	-1.5111
D	1	54	55.5570	1.5570
	2	66	68.3028	2.3028
	3	69	69.8920	0.8920
	4	57	55.5919	-1.4081
E	1	30	31.7236	1.7236
	2	29	31.7306	2.7306
	3	29	31.8596	2.8596
F	1	43	43.0177	0.0177
	2	43	41.3183	-1.6817
	3	40	41.3183	1.3403
	4	32	30.1943	-1.8057
	5	18	15.8802	-2.1198
	6	33	31.8032	-1.1968
	7	39	41.3334	2.3334
Total	30	RMSE		1.4922

지표면 위에 그림자가 있어야 한다는 제약의 경우에는 기존의 구축된 DEM 등을 이용하면 어느 정도 해결 가능할 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. 예철수, 이쾌희, 2000, 그림자 정보를 이용한 KOMPSAT 위성영상에서의 건물 검출, *Journal of the Korean Society of Remote Sensing*, Vol. 16, No. 3, pp. 235-242.
2. Agoston, M. K., 2005, *Computer graphics and geometric modeling : implementation and algorithm*, London: Springer, pp. 106-109.
3. Baillard, C., and Maitre, H., 1999, 3-D Reconstruction of Urban Scenes from Aerial Stereo Imagery: A Focusing Strategy, *Computer vision and image understanding*, Vol. 76, No. 3, pp. 244-258.
4. Cord, M., and Declercq, D., 2001, Three-Dimensional Building Detection and Modeling Using a Statistical Approach, *IEEE transactions on image processing*, Vol. 10, No. 5, pp. 715-723.
5. Fradkin, M., Maitre, H., and Roux, M., 2001, Building Detection from Multiple Aerial Images in Dense Urban Areas, *Computer vision and image understanding* Vol. 82, pp. 181-207.
6. Grodecki, J., and Dial, G., IKONOS Geometric Accuracy, *Proceedings of Joint Workshop of ISPRS Working Groups on High Resolution Mapping from Space 2001, September 19-21, 2001*, CDROM.
7. Haithcoat, T. L., Song, W., and Hipple, J. D., 2001, Building Footprint Extraction and 3-D Reconstruction from LIDAR Data, *IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*, pp.74-78.
8. Haverkamp, D., 2004, Automatic Building Extraction from IKONOS Imagery, *Proceedings of ASPRS 2004 Conference*, Denver, Colorado, May 23-28.
9. Irvin R. B., and Mekeown, D., 1989, Methods for exploiting the relationship between buildings and their shadows in aerial imagery, *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 19, No. 6, pp. 1564-1575.
10. Jin, X., and Davis, C., 2005, Automated Building Extraction from High-Resolution Satellite Imagery in Urban Areas Using Structural, Contextual, and Spectral Information, *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*. Vol. 14, No. 2, pp. 196-2206.
11. Kim, J. R., and Muller, J.-P., 2002, 3D Reconstruction From Very High Resolution Satellite Stereo and its Application to Object Identification, *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34, No. 4, pp. 637-643.
12. Kim, T., and Muller, J.-P., 1999, Development of a graph-based approach for building detection, *Image and vision computing*, Vol. 17, No. 1, pp. 3-14.
13. Kim, T., and Muller, J.-P., 1998, A Technique for 3D building reconstruction, *Photogrammetric engineering and remote sensing*, Vol. 64, No. 9, pp. 923-930.
14. Kim, T., and Muller, J.-P., 1996, Automated urban area building extraction from high resolution stereo imagery, *Image and vision computing*, Vol. 14, No. 2, pp. 115-130.
15. Kim, Z., and Nevatia, R., 2004, Automatic description of complex buildings from multiple images, *Computer vision and image understanding*, Vol. 96, No. 1, pp. 60-95.
16. Lin, C., and Nevatia, R., 1998, Building Detection and Description from a Single Intensity Image, *Computer vision and image understanding*, Vol. 72, No. 2, pp. 101-121.
17. Liow, Y. T., and Pavlidis, T., 1990, Use of Shadows for Extracting Buildings in Aerial Images, *Computer vision, graphics, and image processing*, Vol. 49, No. 2, pp. 242-277.
18. Noronha, S., and Nevatia, R., 2001, Detection and Modeling of Buildings from Multiple Aerial Images, *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, Vol. 23, No. 5, pp. 501-518.
19. Paparoditis, N., Cord, M., Jordan, M., and Cocquerez, J.-P., 1998, Building Detection and Reconstruction from Mid- and High-Resolution Aerial Imagery, *Computer vision and image understanding*, Vol. 72, No. 2, pp. 122-142.
20. Rau, J.-Y., and Chen, L.-C., 2003, Robust Reconstruction of Building Models from Three-Dimensional Line Segments, *Photogrammetric engineering and remote sensing*, Vol. 69, No. 2, pp. 181-188.
21. Robert, T. C., Christopher, O. J., Cheng, Y.-Q., Wang X., and Frank, S., 1998, The Ascender System: Automated Site Modeling from Multiple Aerial Images, *Computer vision and image understanding*, Vol. 72, No. 2, pp. 143-162.
22. Shackelford, A. K., Davis, C. H., and Wang, X., 2004, Automated 2-D Building Footprint Extraction from High-Resolution Satellite Multispectral Imagery, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Vol. 3, pp. 1996-1999.
23. Sohn Hong-Gyoo, Park Choong-Hwan, and Heo Joon, 2005, 3-D Building Reconstruction Using IKONOS Multispectral Stereo Images, *Lecture notes in computer science*, pp. 62-68.
24. Suverg, I., and Vosselman, G., 2000, 3D Reconstruction of Building Models, *International archives of photogrammetry and remote sensing*, Vol. 33, No. B2, pp. 538-545.
25. Ye, C.-S., and Lee K.-H., 2002, 3-D Reconstruction of Man-made Objects based on Watershed Segmentation and 3-D Grouping, *Proceedings of the 2002 IEEE International Symposium on*, Vol. 2, pp. 453-456.
26. 연합뉴스, 2005, [http://news.naver.com/news/read.php?mode=LSD&office\\_id=098&article\\_id=0000095624&section\\_id=17&menu\\_id=117](http://news.naver.com/news/read.php?mode=LSD&office_id=098&article_id=0000095624&section_id=17&menu_id=117).
27. NASA, 2005, U.S.A, <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/mission.htm> (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM).