

## 항공사진과 항공레이저 데이터를 이용한 건물 자동추출

조우석\* · 이영진\*\* · 좌윤석\*\*

인하대학교 토목공학과\* · 지리정보공학과\*\*

### Automatic Extraction of Buildings using Aerial Photo and Airborne LIDAR Data

Woo-Sug Cho\*, Young-Jin Lee\*\*, and Yoon-Seok Jwa\*\*

Department of Civil Engineering\* · Geoinformatic Engineering\*\*, Inha University

**Abstract :** This paper presents an algorithm that automatically extracts buildings among many different features on the earth surface by fusing LIDAR data with panchromatic aerial images. The proposed algorithm consists of three stages such as point level process, polygon level process, parameter space level process. At the first stage, we eliminate gross errors and apply a local maxima filter to detect building candidate points from the raw laser scanning data. After then, a grouping procedure is performed for segmenting raw LIDAR data and the segmented LIDAR data is polygonized by the encasing polygon algorithm developed in the research. At the second stage, we eliminate non-building polygons using several constraints such as area and circularity. At the last stage, all the polygons generated at the second stage are projected onto the aerial stereo images through collinearity condition equations. Finally, we fuse the projected encasing polygons with edges detected by image processing for refining the building segments. The experimental results showed that the RMSEs of building corners in X, Y and Z were 8.1cm, 24.7cm, 35.9cm, respectively.

**Key Words :** LIDAR, Aerial Photo, Building Extraction, Data Fusion, Photogrammetry.

**요약 :** 본 논문은 수동센서인 항공카메라와 능동센서인 레이저스캐너의 상호 보완적인 특징을 이용하여 지표면에 존재하는 다양한 지형지물 중 건물을 자동으로 추출하는 알고리즘에 대한 연구이다. 제안하는 건물추출 알고리즘은 처리 단계별로 사용되는 데이터의 형태에 따라 point level process, polygon level process, parameter space level process의 세 단계로 나눌 수 있다. 첫 번째 단계인 point level process에서는 LIDAR의 점 데이터에서 과대오차를 제거하고 건물후보점들을 추출하여 같은 특성을 갖는 점들을 모아 폴리곤을 제작한다. 두 번째 단계에서는 면적조건과 circularity를 이용하여 수목 폴리곤을 제거하고, 건물 폴리곤 사이의 포함관계를 정립한다. 마지막 단계에서는 이전 단계의 최종 건물 폴리곤을 공선조건식을 이용하여 항공사진 위에 투영하고 모폴로지 필터링을 통해 탐색영역을 제한한 후, Hough 변환의 파라미터 공간에서 다양한 가정과 제약조건을 이용하여 건물의 외곽선을 추출한다. 제안된 알고리즘에 의해 자동으로 추출된 건물 외곽선의 정확도를 검증하기 위하여 건물 모서리점의 3차원 좌표를 결정하였고, 이를 수치사진측량시스템에서 관측한 결과와 비교하였다. 실험결과 각 건물 모서리점의 평균계급근오차는 X, Y, Z 각 방향으로  $\pm 8.1\text{cm}$ ,  $\pm 24.7\text{cm}$ ,  $\pm 35.9\text{cm}$ 로 나타났다.

## 1. 서 론

최근 선진외국에서는 지형정보를 획득하고 수정·갱신하기 위한 다양한 기술이 활발히 연구되고 있으며, 특히 항공사진영상과 고해상도 인공위성영상을 이용하는 수치사진측량 분야에 많은 연구가 이루어지고 있다. 일반적으로 지형지물의 3차원 위치정보의 획득은 사진측량기술에 의해 입체영상을 이용하여 도화사의 수작업으로 이루어진다. 이와 같은 수작업은 시간과 비용이 매우 많이 소요되며, 이로 인해 자동화에 대한 요구가 증대되고 있다. 그러나, 항공사진영상에서 지형지물의 자동추출은 영상처리기술의 한계 및 영상에 포함된 수많은 정보와 사진측량의 원천적인 문제점 즉, 중심투영으로 인한 폐색과 기복변위, foreshortening, 수동적 센서이기 때문에 발생하는 그림자의 영향 등으로 인하여 아직도 매우 어려운 작업이고 더욱 많은 연구가 필요한 분야이다. 다시 말해서 불량조건계(ill-posed problem)인 사진측량에서 지형정보를 자동으로 추출하기 위해서는 사진측량을 우량조건계(well-posed problem)로 만들어 주어야 한다. 즉, 수동센서(passive sensor)의 한계를 벗어날 수 있는 새로운 센서를 도입해야 한다.

최근 몇 년 사이에 비약적인 발전을 한 Airborne Laser Scanning(ALS) 또는 LIDAR(Light Detection And Ranging) System은 레이저 펄스를 주사하고, 반사된 레이저 펄스의 도달시간을 측정함으로써 반사지점의 좌표를 계산하는 시스템으로 Digital Elevation Model(DEM)과 Digital Surface Model(DSM)을 자동으로 생성할 수 있는 새로운 기술이다. 항공사진 카메라시스템처럼 Laser Scanning에 사용되는 ALS 시스템도 단발 또는 쌍발 엔진의 항공기나 헬리콥터에 장착될 수 있으며, 능동센서(active sensor)인 레이저를 이용하므로 야간에도 촬영이 가능하고 기상, 태양각, 숲의 우거진 정도와 같은 환경적인 조건에 덜 민감하다. 또한 넓은 지역에 대한 정밀한 표고데이터의 구축에 매우 적합하며, 특히 많은 비용과 기간이 소요되는 기존의 측량방법을 대체할 수 있는

새로운 측량방법으로 서서히 인식되고 있다.

도시지역의 대부분을 차지하는 건물에 대한 3차원 위치정보는 지도제작 뿐만 아니라 가상도시구축, 무선통신망 설계, 카 네비게이션 등의 근간이 되는 정보이다. 도시는 매우 빠르게 변화하고 있으며 건물의 3차원 위치정보를 필요로 하는 사용자에게 정확한 정보를 제공하기 위해서는 지속적인 수정·갱신 작업이 필요하다. 항공사진에는 매우 다양한 정보가 포함되어 있으며, 이 수많은 정보에서 건물에 해당하는 정보를 자동으로 추출하는 것은 매우 어렵다. 그러나, 지표면에 대한 높이정보를 제공하는 LIDAR 데이터를 이용하면 항공사진에서 건물에 해당하는 정보를 분리하는 것이 가능하다. 다시 말해서 불량조건계인 수치사진측량을 우량조건계로 만들기 위하여 LIDAR 데이터를 이용할 수 있다.

Haala와 Brenner(1999)는 도시환경에서의 건물과 수목의 추출을 위하여 다중 분광 영상과 LIDAR 데이터를 융합하는 방법을 발표하였으며, Murakami 등(1999)은 LIDAR 데이터와 CCD 영상을 이용하여 건물의 변화를 탐지하는 방법을 제안하였다. Maas와 Vosselman(1999)은 정규격자를 보간하는 방법을 사용하지 않고 LIDAR의 점 데이터를 사용하여 건물의 모델을 결정하는 두 가지의 새로운 방법을 제안하였고, Wang과 Schenk(2000)는 LIDAR 데이터로부터 직교성, 평행성, 원형성, 대칭성 등을 포함한 기하와 형태를 기초로 하여 건물의 경계선을 추출하였다. 추출된 건물의 경계선에서 외곽점들을 추출하고 이 점을 이용하여 TIN을 제작한 후, 건물을 재구성하였다.

국내에서는 김형태(2001)가 LIDAR 데이터와 항공사진을 융합하여 건물의 외곽점을 추출하였다. 먼저 LIDAR 점 데이터를 이용하여 건물 폴리곤을 구성하고 이 폴리곤에서 건물의 특징점을 추출하여 공선조건식을 통해 항공사진 위에 투영시킨다. 건물의 특징점이 위치한 부근의 항공사진에 Hough 변환을 수행하여 건물의 모서리를 구하고 이 모서리의 교차점을 후보점으로 추출하여, 결정규칙과 좌우 항공사진에서의 시차를 이용하여, 최

적의 건물 특징점을 추출하였다.

전체 표고점 데이터에서 건물을 이루는 점 데이터를 분리하기 위한 방법은 점 데이터를 직접 처리하는 방법과 점 데이터를 정규격자로 보간하여 처리하는 방법이 있다. 후자의 경우 영상처리에 사용되는 필터링 방법들이 그대로 적용될 수 있다는 장점이 있지만, 보간에 의한 오차가 발생한다는 단점이 있다(Wehr and Lohr, 1999). 이병길(2001)은 두 방법 각각의 장단점이 있으나, 자료 처리에 전산자원 및 시간을 적게 차지하는 정규격자의 형태로 보간하여 처리하는 방법이 더 유리하다고 하였고, 소규모 실험데이터가 아닌 실제 데이터를 이용하는 경우에 이 방법의 사용이 필수적이라고 하였다. 좌완석(2003)은 처리속도 향상을 위해 정규격자의 형태를 갖으면서 점 데이터를 직접 이용하는 pseudo-grid를 제안하였다.

## 2. 건물추출 알고리즘

본 논문은 수동센서인 항공카메라와 능동센서인 레이저스캐너의 상호 보완적인 특징을 이용하여 지표면에 존재하는 다양한 지형지물 중 건물을 자동으로 추출하는 알고리즘에 대한 연구결과이다. 본 논문에서 제안한 건물추출 알고리즘은 처리 단계별로 사용되는 데이터의 형태에 따라 point level process, polygon level process, parameter space level process의 세 단계로 나누어진다. Point level process에서는 LIDAR 점 데이터로부터 건물 후보 점을 추출하고, 각 건물 후보점들로 이루어진 encasing polygon을 제작한다. Polygon level process에서는 면적조건 등을 이용하여 건물 폴리곤과 수목 폴리곤을 분리하고, 아파트 옥상과 옥상 위의 엘리베이터 탑과 같은 폴리곤 사이의 포함관계를 정립한다. Parameter space level process에서는 영상에서 추출된 경계선(edge) 정보, 건물 폴리곤, 건물의 제약조건을 이용하여 파라미터 공간에서 최종적으로 건물의 외곽선을 추출한다. 제안된 건물추출 알고리즘의 작업흐름도는 Fig. 1과 같다.

### 1) Point Level Process

#### (1) 점의 인접관계

LIDAR 점 데이터를 직접 처리하는 경우 데이터 처리속도의 향상을 위해서 점 사이의 인접관계를 규정하는 것은 필수적이라 할 수 있다. 본 논문에서는 대상공간을 임의의 크기의 격자로 나누어, 각 격자가 해당공간에 존재하는 점들의 인덱스를 갖도록 하고, 각 점도 자신이 위치한 격자의 인덱스를 갖도록 하였다.

#### (2) 과대오차 제거

과대오차를 제거하기 위해서 대상지역에 대한 고도값의 분포가 정규분포라 가정하고, 고도값이 고도평균의  $\pm 2.576\sigma$ (99%) 이상인 점들을 과대오차의 후보로 선택한다. 선택된 후보 주변의 일정 영역에 다른 점이 존재하지 않을 경우, 즉 따로 떨어진 점일 경우 과대오차로 판단하여 제거하였다.

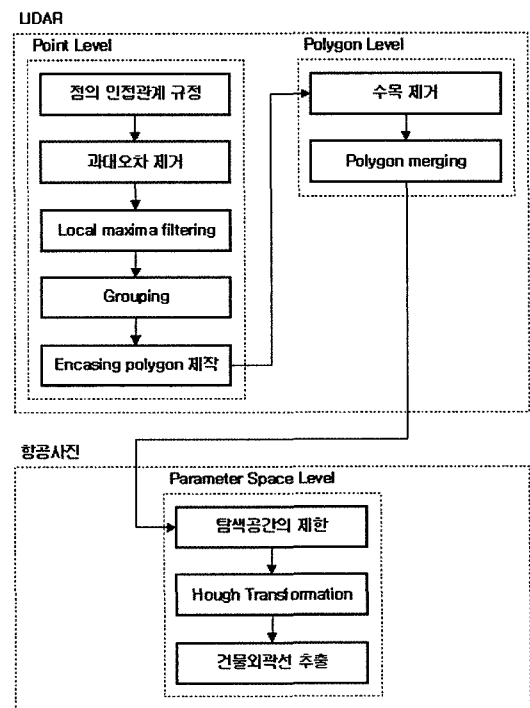


Fig. 1. Overview of work flow.

(3) 건물후보점 추출

대부분의 경우 건물은 주변의 지형에 비해 높다는 사실을 이용하여 LIDAR 점 데이터에서 건물을 분리해 낼 수 있다. 그러나, 데이터 전체에 단순히 높이 임계값을 주어 건물지역을 분할해 내는 방법은 편평한 지역에서는 적용이 가능하지만, 지형이 평탄하지 않는 지역에는 문제가 발생할 수가 있다. 따라서, 높이 임계값을 국소적으로 적용하기 위한 local maxima filter의 사용이 필요하며, 대상지역의 모든 LIDAR 점 데이터에 대하여 local maxima filter를 적용하여 건물후보점을 추출하였다(김형태, 2001).

(4) Grouping Mechanism

3차원 공간상에 불규칙적으로 분포된 LIDAR 점 데이터를 같은 건물에 이루는 점들끼리 묶어주기 위해서 영상처리의 region growing 알고리즘과 유사하게 작동하는 grouping 알고리즘을 개발하였다. 임의의 점이 동일 그룹으로 지정되기 위해서는 다음의 조건을 모두 만족해야 한다.

- 조건 1. 어떤 그룹으로도 지정되지 않은 점.
- 조건 2. 그룹을 이루는 다른 점과 거리조건을 만족하는 점.
- 조건 3. 그룹에 새로 추가되는 점이 없을 경우 새로운 그룹 생성.

(5) Encasing Polygon 제작

본 연구에서는 동일 건물에 해당하는 LIDAR

점 데이터를 모두 포함하는 폴리곤을 제작하기 위해서 최소거리조건을 적용한 encasing polygon 제작 알고리즘을 개발하였다(이영진, 2002). 개발된 알고리즘을 적용한 결과는 Fig. 2와 같다.

2) Polygon Level Process

(1) 수목 제거

이전 단계에서 제작된 폴리곤 중에서 건물에 아닌 수목에 해당하는 폴리곤을 제거하기 위해서 면적조건과 원형성(circularity), z-range를 이용한다. 먼저, 가로수와 같이 작은 면적을 갖는 수목을 제거하기 위해서 미리 임의로 지정된 건물의 최소 면적보다 작은 면적을 갖는 폴리곤을 제거한다. 넓은 면적을 갖는 수목 분포지역을 제거하기 위해서 원형성과 z-range를 이용하였다. 원형성은 경계선의 길이(L)와 면적(A)의 비로 정의되며, 경계선의 복잡한 정도를 나타낸다(Wang and Schenk, 2000).

$$C = \frac{L^2}{A} \quad (1)$$

실험결과 건물의 경우 C 값은 약 20에서 60 정도였다. 따라서, 각 폴리곤의 circularity를 계산하여 그 값이 80 이상인 폴리곤은 수목이라 판단하여 제거한다. z-range는 같은 그룹에 속한 점들의 최대 높이값에서 최저 높이값을 뺀 것으로 한 건물의 지붕이 이루는 점들의 높이값은 비슷하다는 가정을 이용하여 z-range가 임계값 이상인 폴리곤은 수목이라 판단하여 제거한다.

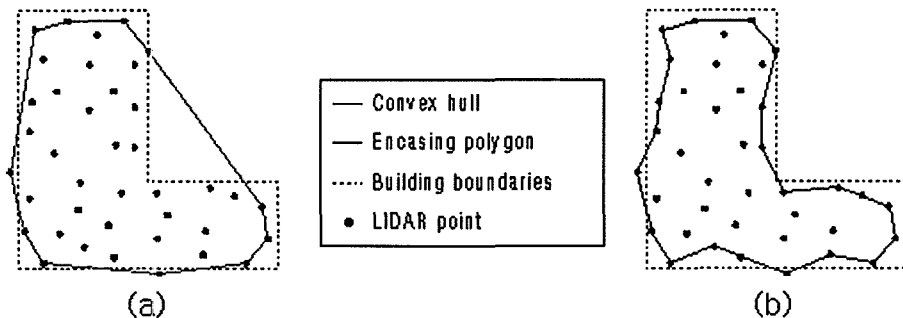
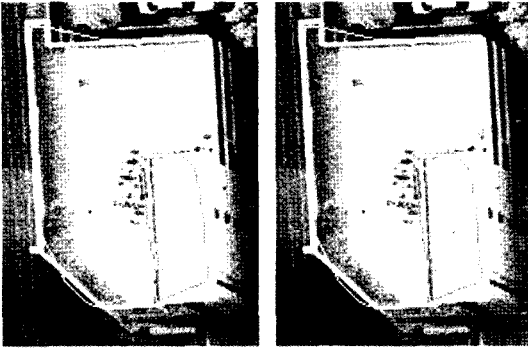


Fig. 2. (a) Convex hull, (b) Encasing polygon.



Encasing Polygon Merged Polygon

Fig. 3. Polygon merging.

### (2) Polygon Merging

제안된 건물추출 알고리즘은 비슷한 높이값을 갖는 점들로 폴리곤을 제작하므로, 건물지붕과 건물지붕 위의 구조물은 서로 다른 폴리곤으로 제작되게 된다(Fig. 3). 이런 경우, 두 폴리곤은 겹치게 되므로 아래에 있는 폴리곤을 위에 있는 폴리곤을 구성하는 꼭지점들을 포함하여 다시 생성하도록 한다. 그러나, 옥상 위의 구조물이 아닌 경우에도 두 폴리곤이 겹치는 경우가 있으므로, 두 폴리곤의 면적을 비교하여 위에 있는 폴리곤의 면적이 아래에 있는 폴리곤의 면적보다 작을 경우에만 아래의 폴리곤을 새로 생성하도록 하였다.

### 3) Parameter Space Level Process

Parameter space level에서 다루는 데이터는 항공사진영상에서 얻은 경계선(edge)과 이전단계에서 얻은 폴리곤을 공선조건식을 통해 항공사진영상에 투영한 폴리곤이다. 수많은 경계선 중에서 건물의 외곽선에 해당하는 경계선을 찾기 위해 polygon level에서 제작된 폴리곤을 항공사진 위에 투영하여 이 폴리곤의 외곽선 주변영역에 존재하는 경계선을 건물 외곽선의 후보로 선택한다. 이 후보들을 대상으로 Hough 변환을 수행하여 Hough 파라미터 공간에서 건물의 제약조건을 이용해서 최종적으로 건물의 외곽선을 찾는다.

#### (1) 탐색공간의 제한

항공사진영상에서 추출된 경계선은 수목, 그림자, 차선 등에 의한 수많은 경계선으로 이루어진다. Polygon level에서 생성된 폴리곤을 이루는 점을 공선조건식을 이용해 항공사진에 투영한 후 각 점을 순서대로 연결하여 항공사진영상 위에 폴리곤을 위치시킨다. 폴리곤의 외곽선은 대부분 건물의 경계선에 가깝게 위치하게 되나, 건물의 난간 등에 의한 폐색으로 인하여 LIDAR 데이터가 없는 부분의 경우에는 실제 건물의 외곽선에서 약간 떨어져서 위치하게 된다. 이런 경우까지 고려할 수 있도록 모폴로지 확장필터를 이용하여 폴리곤의 외곽선을 확장시켜 건물의 경계선이 존재하는 버퍼영역을 설정한다.

#### (2) Hough Transformation

Hough 변환은 영상에서 직선과 곡선을 추출할 수 있는 알고리즘으로 1962년 Hough에 의해 제안되었으며, 알고리즘의 개념은 다음과 같다. 극좌표계를 이용한 2차원 평면에서 직선은 식(2)와 같이 표현된다.

$$\rho = c \cos\theta + r \sin\theta \quad (2)$$

항공사진영상의 모든 픽셀에 대해  $\theta$ 를  $\theta_{\min}$ 에서  $\theta_{\max}$ 까지 변화시키면서  $\rho$ 를 계산하고 이에 해당되는 누적 셀의 값을 증가시킨다. 모든 픽셀에 대해 연산이 끝났을 때,  $(\theta, \rho)$ 에 해당하는 누적 셀의 값이 M이라면, 이 값은 row-column 좌표계에서  $\text{row} = -\cot\theta \cdot \text{column} + \rho \csc\theta$  직선 위에 놓인 점의 수를 뜻한다. 이와 같은 알고리즘을 이용하여 건물의 경계선이 존재하는 버퍼 영역에서 Hough 변환을 수행한다.

#### (3) Parameter Space 건물외곽선 추출

Hough 파라미터(parameter) 공간에서 건물의 외곽선을 추출하기 위해서 다음과 같은 가정을 적용한다.

- 가정 1. 건물의 마주보는 외곽선은 거의 평행하다.
- 가정 2. 건물의 인접하는 외곽선은 거의 수직이다.
- 가정 3. 건물의 한 변의 길이는 최대건물길이보다

짧다.

가정 4. 건물의 한 변의 길이는 최소건물길이보다 길다.

여기서, 최대건물길이와 최소건물길이는 대상지역의 건물의 특성에 따라 설정된 임계값이다. 누적 셀의 row가  $\theta$ 를 나타내고 column이  $\rho$ 를 나타낸다고 하면, 평행한 두 직선은 누적 셀에서 같은 row에 위치한다. 또한, 직교하는 두 직선은 서로 90°에 해당하는 row만큼 떨어져서 위치하게 된다.

이러한 파라미터 공간의 특성과 위의 네 가지 가정을 이용하여 건물의 경계선을 찾는 과정은 다음과 같다. 먼저, 한 건물의 버퍼영역에 존재하는 경계선을 이루는 픽셀에 대하여 Hough 변환을 수행하고, 누적 셀의 값이 최대인 셀을 찾는다. 이 셀이 나타내는 직선이 버퍼영역에서 최대길이직선이고, 그 건물의 가장 긴 변이다. 파라미터 공간에서 이 직선과 마주보는 거의 평행한 직선은 최

대길이직선과 같은 row에 존재한다. 그러므로, Fig. 4와 같이 약간의 여유각과 가정 3의 최대건물 길이와 가정 4의 최소건물길이 조건을 이용하여 누적 셀에서 탐색영역을 제한한 후, 탐색영역에서 누적 셀의 값이 최대인 셀을 찾는다. 이 셀이 나타내는 직선이 최대길이직선과 거의 평행한 직선이고, 그 건물의 가장 긴 변과 마주보는 변이다.

Fig. 5는 누적 셀의 일부를 셀의 값이 클수록 어두운 색으로 나타나도록 만든 영상이다. 누적 셀의 row가  $\theta$ 를 나타내고 column이  $\rho$ 를 나타낸다. 그림에서 최대길이직선(가장 어두운 점)과 이에 거의 평행한 직선(그 다음 어두운 점)이 같은 row에 위치하는 것을 볼 수 있다.

파라미터 공간에서 최대길이직선에 거의 수직인 직선은 최대길이직선이 위치한 row에서 90°에 해당하는 row만큼 떨어져서 위치하게 된다. 마찬가지로, Fig. 6과 같이 약간의 여유각을 이용하여 누적

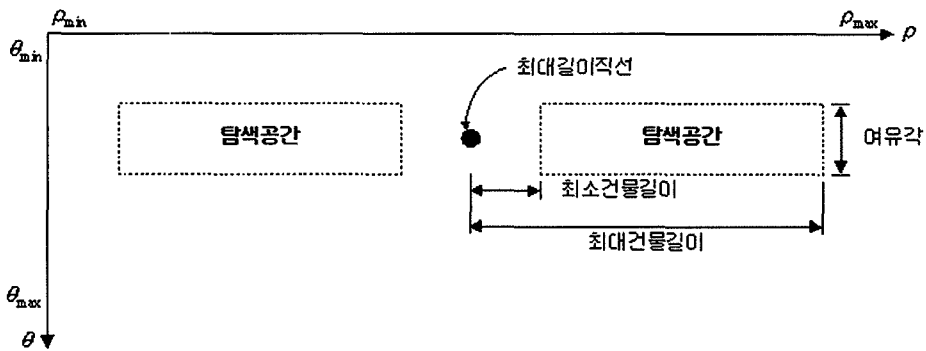


Fig. 4. Extraction of parallel lines in parameter space.

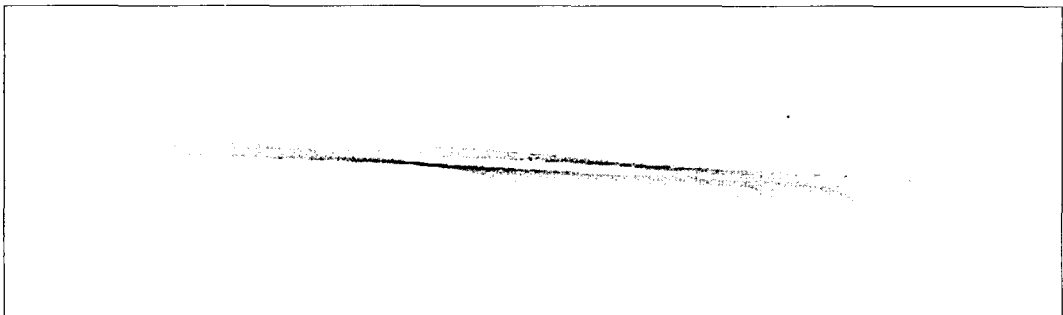


Fig. 5. Example for parallel lines in parameter space.

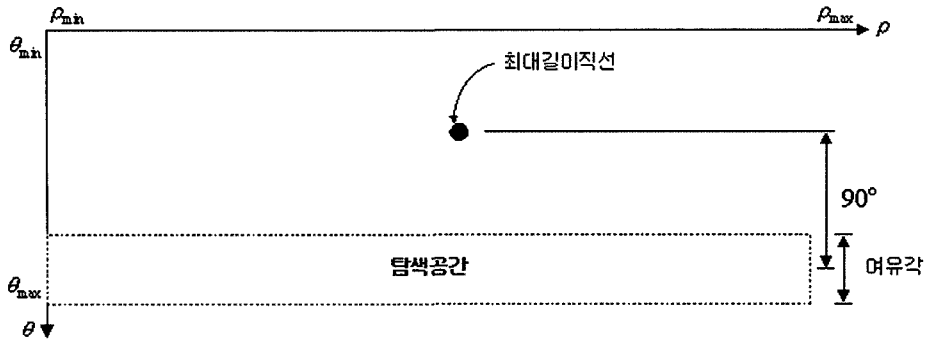


Fig. 6. Extraction of perpendicular lines in parameter space.

셀에서 탐색영역을 제한한다. 이 경우에는 가정 3과 가정 4를 적용할 수 없다. 탐색영역에서 누적 셀의 값이 최대인 셀이 나타내는 직선이 최대길이 직선에 거의 수직인 직선이고, 그 건물의 가장 긴 변과 거의 수직인 직선이다. 같은 방법으로 이 직선과 마주보는 거의 평행한 직선을 찾을 수 있다.

Table 1. Characteristics of aerial photos.

Item	Details
Camera	RMK
focal length(mm)	150
Image scale	1/5000
flying date	2000. 5. 4
flying height(m)	840

### 3. 실험 및 결과

#### 1) 실험 데이터

##### (1) 항공사진 제원

본 연구에 사용된 항공사진은 청주시 부근을 촬영한 것으로 제원은 Table 1과 같다. 항공사진

의 외부표정요소는 Z/I Imaging사의 ImageStation SSK를 이용하여 결정하였다.

##### (2) LIDAR 데이터 제원

본 연구에 사용된 LIDAR 장비는 캐나다 Optech사의 ALTM1020이며, 데이터 획득 시기는 2001년 1월 13일부터 20일까지이다. 실험에 사용된

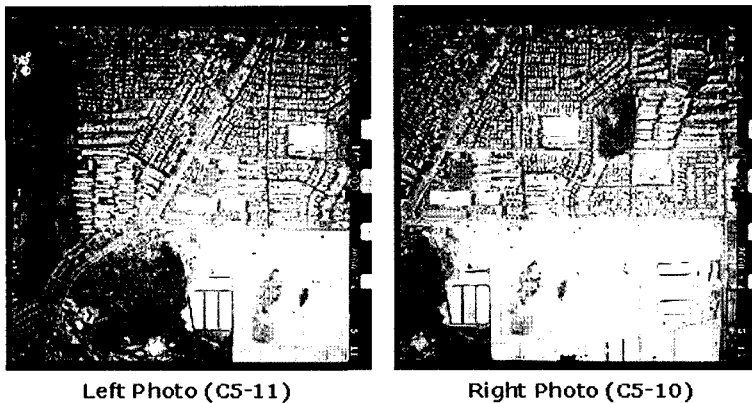


Fig. 7. Aerial photographs for experiment.

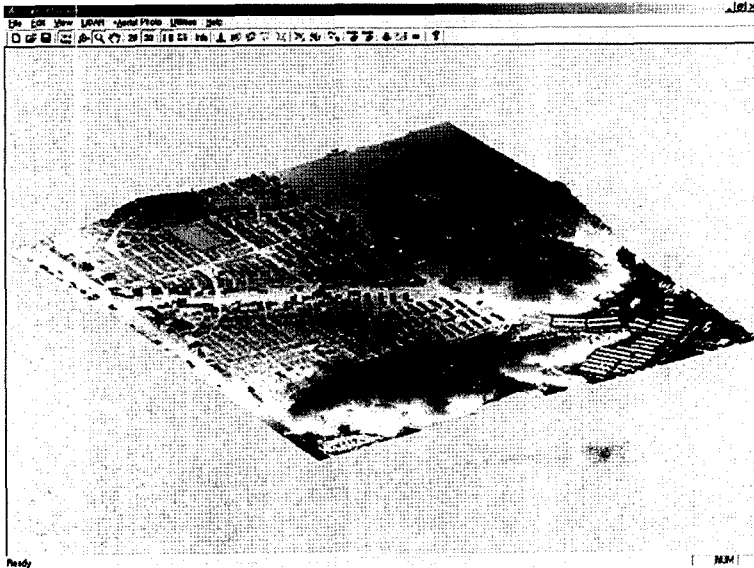


Fig. 8. LIDAR data for experiment.

LIDAR 데이터는 Fig. 8과 같으며, 실험 대상지역의 평균점밀도는 1.22점/m<sup>2</sup>이다.

## 2) 실험결과

본 연구에서 제안한 알고리즘을 적용하기 위하여 고층건물이 위치한 소규모지역을 선정하였으며 대상지역은 Fig. 9와 같다. Fig. 10은 제안된 알

고리즘에 의해 자동으로 추출된 건물 외곽선의 결과를 보여주며, 정확도를 검증하기 위하여 건물 모서리점의 3차원 좌표를 계산하였다. 그리고 이 결과를 수치사진측량시스템인 Z/I Imaging사의 ImageStation SSK에서 관측한 결과와 비교하였다. 총 7개의 고층건물에 대하여 적용하였으며 그 결과는 Table 2에 정리하였다.

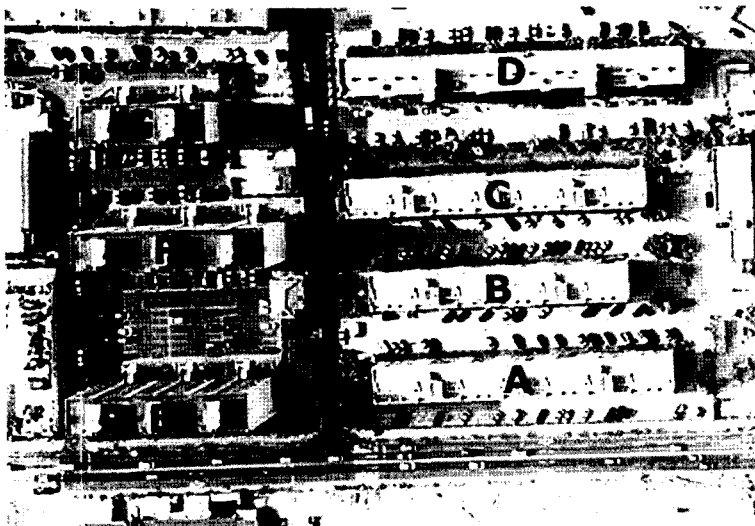


Fig. 8. LIDAR data for experiment.



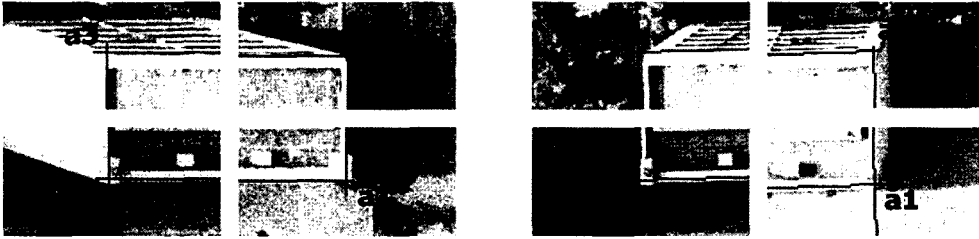


Fig. 10. Extracted building(A) boundaries for left and right images.

Table 2. Accuracy of building corners automatically extracted by proposed algorithm.

ID	Reference			Calculated			Difference		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
a1	241126.787	349869.228	87.856	241126.692	349869.250	87.697	0.095	-0.023	0.159
a2	241126.918	349858.467	87.729	241126.912	349858.099	87.710	0.005	0.367	0.019
a3	241215.240	349859.607	87.824	241215.434	349859.311	88.485	-0.194	0.296	-0.661
a4	241215.046	349870.639	87.824	241215.239	349870.436	88.504	-0.193	0.203	-0.680
b1	241139.709	349841.715	87.051	241139.707	349841.609	87.052	0.002	0.106	-0.001
b2	241139.929	349830.831	87.085	241139.924	349830.516	87.066	0.004	0.315	0.019
b3	241215.671	349832.156	86.932	241215.756	349831.622	87.588	-0.084	0.535	-0.656
b4	241215.518	349842.942	87.277	241215.562	349842.749	87.602	-0.044	0.193	-0.325
c1	241133.873	349813.833	86.480	241133.965	349813.717	86.646	-0.092	0.117	-0.166
c2	241134.004	349803.174	86.349	241134.099	349803.269	86.535	-0.095	-0.095	-0.185
c3	241222.434	349804.583	86.463	241222.518	349804.650	87.153	-0.084	-0.068	-0.690
c4	241222.311	349815.282	86.624	241222.320	349815.089	87.122	-0.009	0.192	-0.498
d1	241121.487	349777.551	91.736	241121.485	349777.446	91.737	0.001	0.105	-0.001
d2	241121.602	349766.501	91.750	241121.706	349766.449	91.755	-0.104	0.053	-0.005
d3	241222.408	349767.972	91.535	241222.450	349768.075	91.875	-0.043	-0.103	-0.340
d4	241222.250	349779.069	91.382	241222.332	349779.055	92.062	-0.082	0.014	-0.680
e1	241247.240	349874.302	113.367	241247.437	349874.229	113.841	-0.197	0.073	-0.474
e2	241247.493	349863.190	112.973	241247.550	349862.900	113.597	-0.057	0.290	-0.624
e3	241298.555	349863.347	113.101	241298.762	349863.250	113.425	-0.207	0.096	-0.324
e4	241298.494	349874.701	113.518	241298.645	349874.573	113.688	-0.151	0.129	-0.170
f1	241242.325	349828.310	107.593	241242.357	349828.282	107.913	-0.032	0.028	-0.320
f2	241242.358	349816.048	107.636	241242.465	349816.305	107.635	-0.107	-0.257	0.001
f3	241297.587	349816.459	107.480	241297.607	349816.642	108.476	-0.020	-0.183	-0.996
f4	241297.520	349827.731	107.558	241297.492	349828.596	108.775	0.028	-0.865	-1.217
g1	241261.287	349791.991	96.664	241261.302	349791.802	96.153	-0.015	0.189	0.511
g2	241261.203	349779.691	95.883	241261.436	349779.787	96.216	-0.233	-0.096	-0.333
g3	241299.235	349779.836	93.574	241299.401	349780.032	94.092	-0.166	-0.197	-0.518
g4	241299.220	349792.045	93.524	241299.329	349791.823	93.847	-0.109	0.221	-0.323
					RMSE		0.081	0.247	0.359

### 4. 결론

본 연구에서는 LIDAR 점 데이터와 항공사진영상을 이용하여 건물의 외곽선을 자동으로 추출하기 위해서 point level process, polygon level process, parameter space level process의 세단계로 구성된 건물추출 알고리즘을 개발하였다. 먼저 LIDAR 점 데이터를 이용하여 벡터공간에서 건물후보점을 추출하였으며, 불규칙적으로 분포된 대용량의 LIDAR 점 데이터를 효율적으로 처리하기 위해서 점 사이의 인접관계를 규정하고 데이터 처리에 이용하여 처리시간을 단축할 수 있었다. 또한, LIDAR 점 데이터를 이용하여 convex가 아닌 폴리곤을 제작하기 위해서 최소거리조건을 적용한 enclosing polygon 제작 알고리즘을 개발하였으며, 건물의외곽선의 직선요소를 추출하기 위해 Hough parameter space에서 다양한 가정을 이용하여 건물의 외곽선을 추출하였다.

제안된 알고리즘에 의해 자동으로 추출된 건물 외곽선의 정확도를 검증하기 위하여 건물 모서리점의 3차원 좌표를 결정하였고, 이를 수치사진측량시스템에서 관측한 결과와 비교하였다. 실험결과 각 건물 모서리점의 평균제곱근오차는 X, Y, Z 각 방향으로 8.1cm, 24.7cm, 35.9cm로 나타났다. 오차의 원인으로는 encasir.g polygon을 이용하여 설정한 버퍼영역 내에 건물의 외곽선에 의한 경계선보다 더 뚜렷한 선형을 갖는 경계선이 존재하는 경우, 예를 들어 옥상 난간의 안쪽에 생기는 경계선이 바깥쪽에 생기는 경계선보다 뚜렷할 경우, 이 경계선을 건물의 외곽선으로 인식하는 문제가 발생하였다. 이와 같은 문제는 점밀도가 높은 LIDAR 데이터를 이용하여 해결이 가능하다고 판단된다.

향후 연구로는 밀집되어있는 저층건물을 분리하기 위한 정밀한 건물추출 알고리즘과 수목이 집단적으로 분포하는 지역의 수목을 제거하는 알고리즘의 보완이 필요하며, parameter space에서 복잡한 다각형 형태의 건물을 추출하기 위하여 정밀한 제약조건에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

### 사 사

본 연구는 2001년도 한국학술진흥재단(KRF-2001-003-E00432)의 지원에 의하여 수행되었으며 연구비지원에 감사를 드립니다.

### 참고문헌

김형태, 2001. GIS 건물레이어 자동구축을 위한 Lidar 데이터와 항공사진의 융합, 박사학위논문, 서울대학교.

윤공현, 1997. 수치사진측량을 위한 Hough 변환의 효율적인 수행과 적용에 관한 연구, 석사학위논문, 연세대학교.

이병길, 2001. 대축척 DSM 제작을 위한 항공레이저측량 데이터의 보정에 관한 연구, 박사학위논문, 서울대학교.

이영진, 2003. LIDAR 데이터와 항공사진을 이용한 건물의 자동추출에 관한 연구, 석사학위논문, 인하대학교.

좌윤석, 2003. 항공 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 건물 자동추출에 관한 연구, 석사학위논문, 인하대학교.

Ackermann, F., 1999. Airborne laser scanning-present status and future expectations, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54: 64-67.

Haala, N. and C. Brenner, 1999, Extraction of buildings and trees in urban environments, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54: 130-137.

Maas, Hans-Gerd and G. Vosselman, 1999. Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54: 153-163.

Murakami, H., et. al., 1999. Change detection of buildings using an airborne laser scanner, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*.

*Sensing*, 54: 148.

Wang, Z. and T. Schenk, 2000. Building Extraction and Reconstruction from LIDAR Data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol XXXIII, Part B3,

Amsterdam, 959p.

Wehr, A. and U. Lohr, 1999. Airborne laser scanning - an introduction and overview, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54: 68-82.