

LIDAR 자료기반의 3차원 건물정보 구축

Three Dimensional Building Construction Based on LIDAR Data

유환희* · 김경환** · 김성삼***

Yoo, Hwan Hee · Kim, Kyung Whan · Kim, Seong Sam

要 旨

3차원 지형공간정보의 활용범위가 확대되면서 다양한 형태와 크기의 건물들이 존재하는 광범위한 도시지역에 대하여 신속하고 정확하게 실세계에 가까운 3차원 건물 모형을 구축하는 기술 개발이 요구되고 있다. 기존의 항공사진이나 고해상 위성영상을 이용한 3차원 도시 지형공간의 구축 연구와는 달리 최근에는 높은 정밀도를 가진 항공 LIDAR 관측 자료를 활용한 3차원 건물 복원에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 Zero-crossing의 특성을 갖는 LoG 연산자를 이용하여 높이별로 건물의 경계선 정보를 추출하고 Douglas-Peucker 알고리즘을 이용하여 경계선을 직선화하여 건물의 경계선을 정제하고 3차원으로 건물을 복원하는 방법을 제안하였다.

핵심용어 : 3차원 지형공간정보, LoG 연산자, LIDAR, 3차원 건물복원

Abstract

Realistic 3D building construction in urban area has become an important issue because of increasing demand of 3D geo-spatial information in many application. Contrary to the conventional 3D building model construction approach using aerial images and high-resolution satellite imagery, it has been researched widely in building reconstruction using high-accuracy aerial LIDAR data in the latest. This paper presents a method for 3D building construction through building outlines extraction by LoG operator's Zero-crossing and line generation and refinement by Douglas-Peucker algorithm.

Keywords : 3D Geo-spatial information, LoG operator, LIDAR, 3D Building construction

1. 서 론

최근 컴퓨터 과학 기술의 발달로 텔레메틱스, 위치기반 정보서비스, 유비쿼터스 등의 첨단 기술이 다양한 분야에 활용되고 있으며, 3차원 지형공간정보시스템(Geospatial Information System)과 첨단IT기술을 응용하여 보다 정확하고 편리한 방식으로 실세계에 가까운 지형공간정보를 제공하기 위한 노력이 전개되고 있다. 특히, 현실과 같은 실세계 환경에서 입체적인 공간 시뮬레이션이 필요한 도시계획 분야나 사전 예측과 모니터링을 통해 신속한 대응이 요구되는 재난 방재분야에서 3차원 지형공간정보시스템의 활용은 그 범위가 점차 확대되고 있다. 3차원 지형공간정보시스템의 구축에 있어서 기초자료가 되는 3차원 지형공간자료 구축에 관한 기존연구는 주로 향

공측량에 의한 항공사진해석이나 고해상 위성영상처리 등에 의해 구축되어 왔으나, 최근에는 3~6 points/m²의 정밀도를 갖는 항공 LIDAR(Light Detection and Ranging)관측이 가능해짐에 따라서 정확한 DTM이나 DSM정보 추출뿐만 아니라 LIDAR의 높이 정보와 고해상 위성영상, 디지털 항공영상과 같은 다양한 자료원과 융합하여 건물 모형을 구축하는 연구가 수행되고 있다.

LIDAR 자료에서 건물 정보를 추출하기 위한 국외 연구로 Weidner와 Föstner(1995)는 Parametric 모델 및 Prismatic 모델을 이용한 건물 추출 방법을 제시하였으며, Wang(1998)은 LIDAR 자료의 노이즈 제거, 래스터 생성, 경계선 검출, 모멘트 계산, 경계선 분류 과정을 거쳐 건물의 경계선을 검출하였다. 또한, LIDAR를 정규 격자화하고 모플로지 기법을 사용하여 비지면 정보를 추출

2006년 6월 20일 접수, 2006년 7월 21일 채택

* 주저자·정회원·경상대학교 건설공학부 도시공학전공 교수, ERDI (hhyoo@gnu.ac.kr)

** 경상대학교 건설공학부 도시공학전공 교수, ERDI (kwkim@gnu.ac.kr)

*** 교신저자·경상대학교 대학원 도시공학과 박사과정 (kimss333@netian.com)

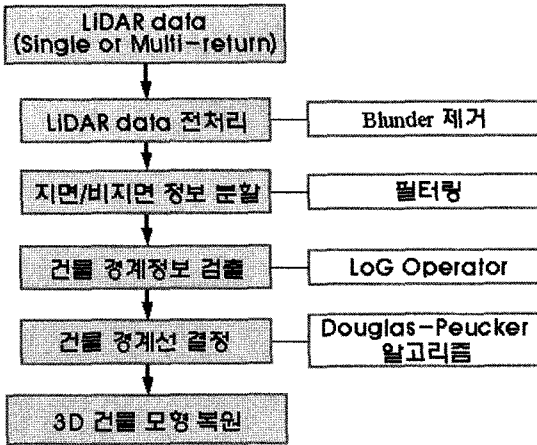


그림 1. 3차원 건물복원 흐름도

한 후, 최소제곱법을 이용한 plane fitting 방법으로 건물과 지붕면을 추출하거나, LIDAR 자료로부터 직교성, 평행성, 원형성, 대칭성 등의 기하 특성을 이용하여 건물의 경계선을 추출하여 건물을 3차원으로 복원하는 연구가 수행되어왔다(Mass 등, 1999; Morgan 등, 2000; Keqi 등, 2005). 국내에서는 김형태(2001)가 LIDAR 와 항공사진을 융합하여 건물 외곽선을 추출하는 연구를 수행하였고, 좌윤석(2003)은 방대한 LIDAR 자료의 효율적 처리를 위해 격자기반으로 LIDAR 자료를 처리하는 기법을 제시하였다. 이원희(2003)는 LIDAR 자료를 이용하여 기존의 수치지도를 자동 갱신하는 가능성을 평가하였으며, 정동기 등(2005)은 LIDAR 점 자료를 정규격자로 변환한 다음 높이, 경사, 모폴로지 필터를 구현하고 지면과 비지면요소로 분류하여 그 정확도를 평가하는 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 LIDAR 자료 및 디지털 항공영상, 수치지도 등의 자료를 활용하여 LIDAR 자료의 전처리 과정과 필터링을 수행하여 지면과 비지면 정보를 분류하였다. 또한 Zero-crossing을 생성할 수 있는 LoG(Laplacian of Gaussian) 연산자를 이용하여 건물의 경계선 정보를 추출한 후 건물의 모서리 부분에서 특징점 탐색과 경계선의 직선화 과정을 통하여 3차원 건물 모형을 구축하는 방안을 제시하였다.

2. LIDAR 자료 처리

LIDAR는 항공기에 탑재된 레이저가 대상물에 반사되어 돌아오는 시간을 이용하여 대상물까지의 거리를 계산하게 되며, 탑재된 GPS와 INS(Inertial Navigation System)의 위치 및 자세정보를 이용해서 대상물의 3차원 좌표를

계산한다. LIDAR 자료에는 3차원 좌표정보 뿐만 아니라 대상물의 매질에 대한 반사파의 강도를 나타내는 반사강도(Intensity)와 멀티리턴 정보를 제공하고 있다. LIDAR 자료는 불규칙한 3차원 점들의 집합으로 정보 손실을 최소화하기 위해 LIDAR의 원시 점 자료를 바로 사용하기도 하지만 자료 처리의 신속성과 효율성을 위해 평균 점 밀도를 고려한 정규 격자자료로 변환하여 처리할 수도 있다. 또한, 항공 LIDAR 자료의 취득과정에서 발생할 수 있는 과대오차(blunder)는 대상지역의 평균 표고와 정규 격자 간격을 고려하여 탐색영역을 설정 후 주변의 점들과 비교하여 과대하게 높거나 낮은 포인트들을 검색하여 제거한다. 건물 경계점을 추출하기 위하여 대상지역의 LIDAR 자료에서 지면과 비지면 점들을 분할하는 과정이 필요하다. 주로 LIDAR 자료의 높이 정보, 경사, 모폴로지(morphology) 필터 등을 활용하여 지면 및 비지면 정보를 추출하는 연구결과가 발표되고 있으며, 본 연구에서는 정동기 등(2005)에 의해 선행 연구된 필터링 기법 중 ETEW(Elevation Threshold Expanding Window)에 의한 필터링 기법을 이용하였다.

건물 경계선 정보를 추출하기 위해 여러 가지 연산자가 사용되고 있으나 본 연구에서는 LoG연산자를 사용하였다. LoG 연산자는 가우스 곡선의 x, y 에 대한 2차 미분으로부터 구할 수 있으며, 가우스 곡선이 2차원 정규분포를 갖는 매개변수로 정의될 때 σ 는 경계선사이의 평균거리를 나타낸다.

$$W(xy) = W(r) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}, \quad r^2 = x^2 + y^2 \quad (1)$$

x 와 y 에 대한 1차 도함수는

$$W'_x(xy) = \frac{x}{2\pi\sigma^4} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad W'_y(xy) = \frac{y}{2\pi\sigma^4} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

이며, 2차 도함수는 다음과 같다.

$$W''_x(xy) = \frac{x^2 - \sigma^2}{2\pi\sigma^6} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad W''_y(xy) = \frac{y^2 - \sigma^2}{2\pi\sigma^6} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

식 (2), (3)에서 두개의 2차도함수를 더하면 LoG연산자가 된다.

$$LoG = \frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{2\pi\sigma^6} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

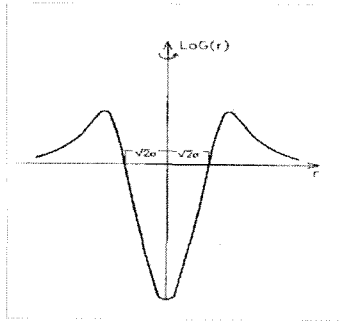


그림 2. LoG 연산자

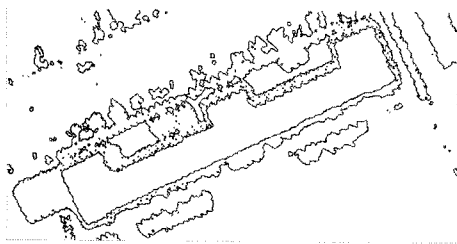


그림 3. LoG 연산자에 의한 경계 추출

3. LIDAR 자료에 의한 3차원 건물 복원

3.1 건물 특징점 검출 및 경계선 정제

LIDAR 자료로부터 건물 경계선과 특징점을 추출하고, 추출된 경계선을 직선화하여 각 단위건물별 최종적인 건물경계선을 결정하였다. 건물 경계선을 추출한 후 LoG 연산자의 Zero-Crossing의 곡률을 계산하여 1차 특징점으로 추출한 후 반자동으로 건물 지붕의 밝기값을 이용

하여 건물 특징점을 추적하였다.

건물 경계선은 Douglas-Peucker 알고리즘(Douglas and Peucker, 1973)을 활용하여 직선화하였다. 이 알고리즘은 복잡한 선형자료를 설정된 임계값 범위내에서 직선화를 수행한다. 우선 추출된 경계선 및 특징점 자료에서 탐색 영역을 결정하게 되고, 탐색영역에서 시·중점을 선택하여 가상선을 연결한다. 이 가상선과 특징점들 간의 거리를 계산하여 최대가 되는 점을 선택한 후 설정된 임계값과 비교하여 임계값보다 크면 건물의 모서리 값으로 결정하게 되며, 임계값보다 작으면 중간점으로 판단하게 된다. 이 과정을 반복하여 건물에 대한 최종 외곽선을 결정하게 된다(그림 4).

3.2 3차원 건물 복원

본 연구에서의 3차원 건물 모형은 LoG 연산자와 Douglas-Peucker 알고리즘에 의해 폐합된 건물 경계선 정보를 추출하고 추출된 경계선의 모서리 점에서의 평균 높이를 계산하고 각 모서리 점을 연결하여 건물 벽면을 생성함으로써 3차원으로 건물을 구축하였다.

지붕경사가 있는 박공형이나 돔형 형태의 복잡한 건물에 대한 3차원 모형화는 추출한 건물 경계선의 경사와 최고 경계선 높이 정보를 사용하여 수행하였다. 추출된 경계선의 경사도는 그 경계선과 인접한 상·하 경계선의 길이와 면적으로 결정되며, 이 경사도에 따라 추출된 경계선이 지붕요소인지 벽면요소인지를 판단할 수 있다.

이 경우 높이 변화의 정도는 인접 경계선 간의 평균 경사값(S)으로 표현되며, 그 평균 경사값은 다음 식 (5)에 의하여 계산된다(그림 5).

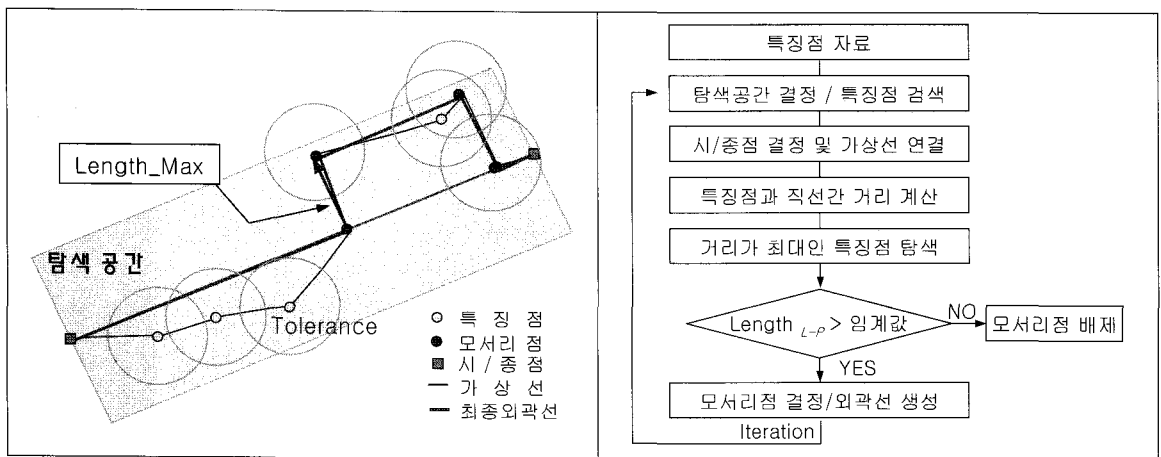


그림 4. Douglas-Peucker 알고리즘

$$S(C_i) = \tan\alpha = \frac{\Delta h}{W} \quad (5)$$

$$W = \frac{\Delta A}{L} \quad (6)$$

여기서, α 는 평균 각도, Δh 는 경계선 높이차, W 는 인접 경계선간 평균 폭을 나타내며, 인접 경계선간의 평균 폭(W)은 상하 경계선의 면적과 길이로 계산되어진다.

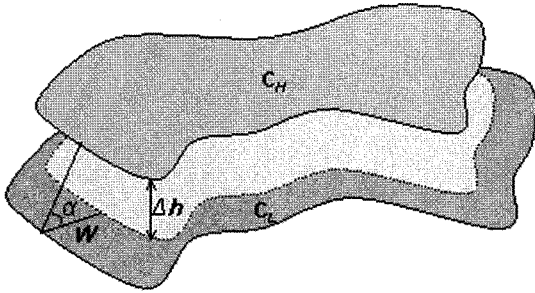


그림 5. 인접 경계선간 경사 계산

여기서, ΔA 는 상·하 경계선간의 면적 차, L 은 상하 경계선 길이의 평균으로 계산된다.

물 벽면의 경사는 지붕면의 경사보다 큰 것으로 가정하여 인접한 상·하 경계선의 경사를 계산하고 그 경사값에 따라 추출된 경계선을 지붕면과 벽면 경계선으로 분류하는 기법을 적용하였다. 건물의 지붕면과 벽면 경계선의 판단 기준은 인접한 상·하 경계선의 경사 값으로 상위 경계선의 경사가 작고 하위 경계선의 경사가 큰 조건을 만족하는 경계선이 건물의 지붕면이 시작되는 경계가 된다(그림 6, 7).

4. 결과분석

4.1 대상지 선정

본 연구에서는 마산시 월영동의 일부지역을 대상지로 선정하였다. 대상지역의 지형은 해안 매립지로서 해안에

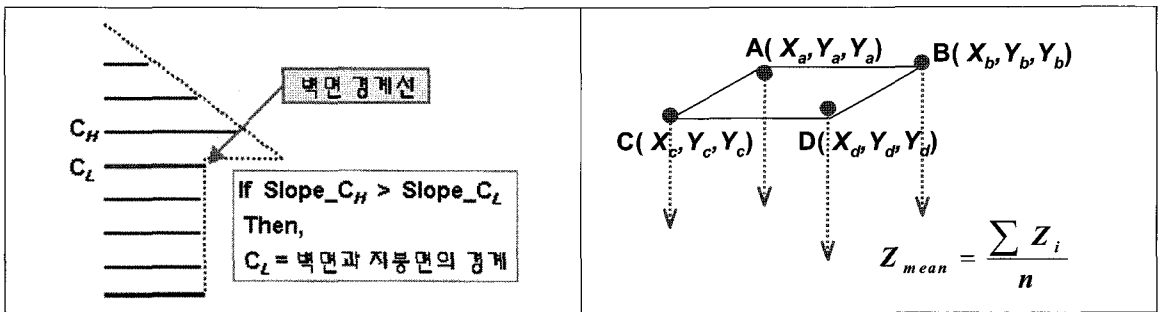
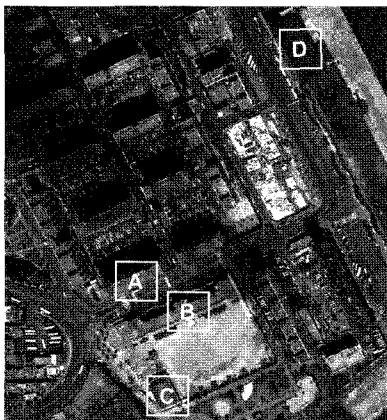
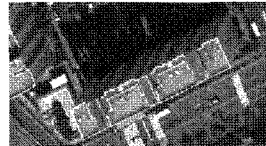


그림 6. 벽면과 지붕면 분류 개념

그림 7. 건물 높이 결정



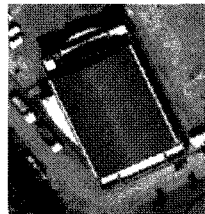
(a) 대상지 현황(항공사진)



(b) 고층 건물-A



(c) 저층건물-B



(d) 돛형-C



(e) 박공형-D

그림 8. 대상지 현황사진 및 주요 건물

서 북서쪽 방향으로 표고가 높아지는 특성을 갖고 있다. 또한, 최근 도시 개발이 가시화되면서 고층아파트, 저층 건물, 단독주택, 박공지붕의 창고 등 다양한 형태의 건물이 존재하고 있어 본 연구의 수행에 적합한 대상지역으로 판단되었다. 그림 8은 LIDAR시스템에 탑재된 ALTM 4K02 디지털카메라를 이용해서 촬영된 대상지역의 디지털 항공영상을 나타내고 있다.

4.2 LIDAR 자료 전처리

4.2.1 LIDAR 자료 취득

본 연구에서 사용한 LIDAR 자료는 2004년 Optect사의 ALTM 3070시스템을 이용하여 촬영고도 1,400m에서 점 밀도 3 points/m²로 취득하였으며 촬영 폭은 700m 이다.

4.2.2 LIDAR 자료 전처리

대상지역의 LIDAR 점 자료를 정규격자 형태의 래스터 자료로 변환한 후, 필터링 기법을 통해서 지면과 비지면으로 분류하였다. Morgan 등이 제시한 선행연구를 토대로 LIDAR 자료의 점 밀도를 고려하여 0.5m 간격의 정규격자 그리드로 변환하였으며(Morgan and Tempeli, 2000),

대상지역의 평균 표고(29.5m)와 정규격자 간격을 고려하여 탐색영역을 설정한 후 과대오차(>3σ)를 제거하였다.

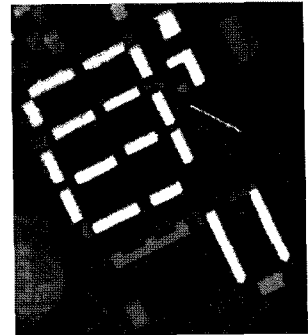
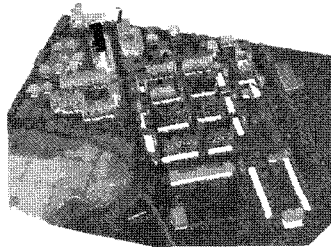
4.2.3 지면 및 비지면 정보 분할

LIDAR자료로부터 지면 및 비지면요소를 추출하기 위해 정동기 등(2005)의 선행연구 결과를 토대로 도시지역 필터링에 적합한 ETEW필터를 사용하여 대상지역에 대한 지면 및 비지면요소를 분류하였다. 대상지역의 면적은 65,792m², 총 셀 개수는 263,169개였으며, 이중 지면 요소가 147,375개(56%), 비지면 요소가 115,794(44%)개로 분할되었다. 필터링 후 잔존하는 건물 주변의 수목, 자동차 등의 비지면 요소들은 대상지내 건물의 최소 면적정보를 이용하여 제거하였다.

4.3 건물경계선 추출 및 정확도 평가

대상지역의 다양한 형태의 건물에 대하여 LIDAR의 건물 높이 정보와 LoG 연산자의 임계값을 이용하여 경계선을 추출하였다. 건물경계선을 추출한 후 LoG 연산자의 Zero-Crossing의 곡률을 계산하여 임계값 이상을 갖는 곡선 지점을 1차 특징점으로 추출하였다. 대상 건물의 특징

| | |
|--------|---------------------------|
| 장비명 | Optech ALTM 30/70 |
| 촬영고도 | 1,400m |
| 레이저주파수 | 70kHz |
| 해상도 | 3 (point/m ²) |
| 촬영폭 | 700m |
| 수직정확도 | 15cm |



(a) LIDAR 제원

(b) 대상지 LIDAR 점 자료

(c) LIDAR GRID

그림 9. LIDAR 자료 현황

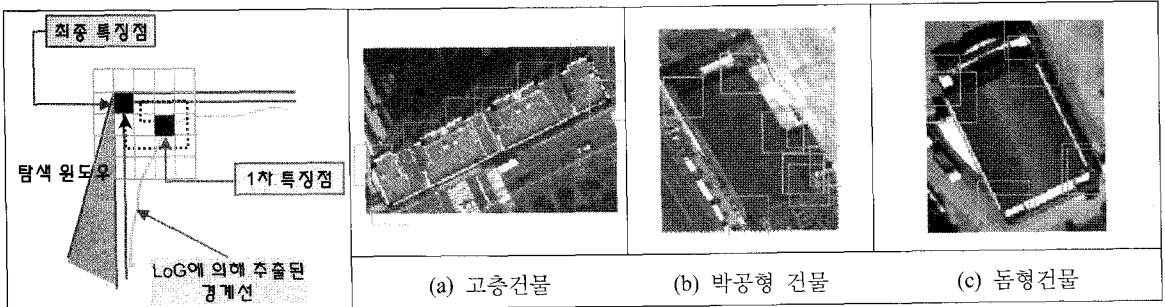


그림 10. 건물별 특징점 추출 결과

점에 대한 정제는 반자동으로 영상에서 대상 건물의 지붕을 선택하고 LoG에 의해 추출된 1차 특징점을 기준으로 검출된 건물 지붕의 밝기값을 이용하여 최종 건물 특징점을 추적함으로써 최종적인 건물 모서리점을 추출하였다(그림 10).

1차 추출된 건물의 경계선으로부터 직선화된 건물 외곽선을 생성하기 위하여 Douglas-Peucker 알고리즘을 활용하여 특징점을 직선화하였다. 일반적으로 건물의 형태가 서로 인접하는 외곽선은 수직이라는 가정하에 탐색공간의 폭은 해당 건물의 최소 폭의 1/2(아파트 7m, 학교 6m, 체육관 10m, 창고 14m)로 부여하였으며, 건물의 모서리점 탐색에 있어 중간점으로 인식하는 탐색범위는 LIDAR 자료의 점밀도와 건물 최소폭을 고려하여 대상지역의 건물 경계선을 추출하였다. 탐색범위가 작을 경우 직선 형태의 경계선을 추출하기 어려운 반면, 탐색범위가 너무 길면 건물의 형태가 왜곡되는 현상이 발생하였으며, 본 연구에서 사용한 대상지 자료는 탐색범위를 1m

로 적용하여 건물 경계선을 직선화하였다(그림 11).

건물 경계선 검출에 대한 정확도는 TM에서 UTM으로 좌표변환한 대상지역 1/1,000 축척의 수치지형도에서 추출한 건물 레이어와 최종 생성된 건물경계선 모서리점의 절대위치 값을 비교하여 평가하였다. 그러나, 기 제작된 수치지형도와 2004년 취득된 LIDAR 자료간의 관측시점 차이로 인해 대상지역내 일부 건물이 누락되는 경우가 발생하였으므로 수치지형도와 LIDAR 자료에서 동시에 존재하는 건물 중 일부를 선정하여 정확도를 평가하였다. 그림 12(a)는 대상지역 1/1,000 수치지형도에서 추출한 건물 레이어 현황을 나타내고 있으며, 12(b)는 LIDAR에서 추출한 건물 경계선을 나타내고 있다. 그림 12(c)는 정확도 평가를 위해 선정한 5개 건물 현황(A-E)과 시계방향으로 관측한 각 건물 모서리 점 분포 현황을 나타내고 있다.

표 1은 제안한 기법에 의해 LIDAR 자료로부터 추출된 건물 모서리점과 1:1,000 수치지형도 상에서 추출한 모서

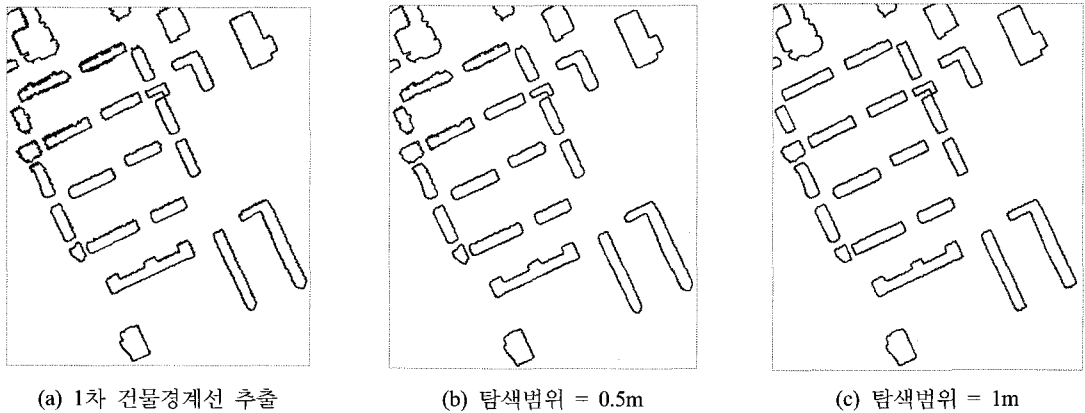


그림 11. Douglas-Peucker 알고리즘에 의한 경계선 직선화



그림 12. 건물 경계선 정확도 평가

표 1. 건물 모서리점 정확도 평가

| 모서리점 | 수치지형도 추출점 | | LIDAR 자료 추출점 | | 오 차 | | 비고 |
|------|-----------|------------|--------------|------------|---------------|---------------|----|
| | E(m) | N(m) | E(m) | N(m) | $\Delta E(m)$ | $\Delta N(m)$ | |
| A1 | 460364.06 | 3892819.64 | 460363.27 | 3892820.18 | 0.79 | -0.54 | |
| A2 | 460409.15 | 3892840.09 | 460408.33 | 3892841.14 | 0.82 | -1.05 | |
| A3 | 460462.15 | 3892866.29 | 460463.11 | 3892866.84 | -0.96 | -0.55 | |
| A4 | 460470.48 | 3892849.49 | 460471.06 | 3892848.50 | -0.58 | 0.99 | |
| A5 | 460371.99 | 3892802.97 | 460373.02 | 3892802.04 | -1.03 | 0.93 | |
| B1 | 460341.00 | 3892861.90 | 460340.12 | 3892861.19 | 0.88 | 0.71 | |
| B2 | 460398.84 | 3892889.46 | 460398.19 | 3892890.05 | 0.65 | -0.59 | |
| B3 | 460403.95 | 3892878.80 | 460404.87 | 3892879.63 | -0.92 | -0.83 | |
| B4 | 460346.05 | 3892851.35 | 460346.71 | 3892850.48 | -0.66 | 0.87 | |
| C1 | 460318.47 | 3892927.50 | 460317.50 | 3892928.46 | 0.97 | -0.96 | |
| C2 | 460369.16 | 3892951.50 | 460368.15 | 3892952.59 | 1.01 | -1.09 | |
| C3 | 460374.78 | 3892939.67 | 460375.24 | 3892940.34 | -0.46 | -0.67 | |
| C4 | 460324.23 | 3892915.46 | 460323.54 | 3892914.40 | 0.69 | 1.06 | |
| D1 | 460289.84 | 3892987.47 | 460289.20 | 3892987.88 | 0.64 | -0.41 | |
| D2 | 460340.57 | 3893011.63 | 460341.58 | 3893012.20 | -1.01 | -0.57 | |
| D3 | 460346.24 | 3892999.73 | 460347.19 | 3892999.01 | -0.95 | 0.72 | |
| D4 | 460295.58 | 3892975.56 | 460294.48 | 3892975.11 | 1.1 | 0.45 | |
| E1 | 460416.97 | 3892898.12 | 460416.21 | 3892897.28 | 0.76 | 0.84 | |
| E2 | 460455.69 | 3892916.32 | 460454.91 | 3892916.99 | 0.78 | -0.67 | |
| E3 | 460460.64 | 3892905.97 | 460460.99 | 3892906.98 | -0.35 | -1.01 | |
| E4 | 460422.04 | 3892887.51 | 460421.56 | 3892887.07 | 0.48 | 0.44 | |
| | | | | RMSE | 0.66 | 0.62 | |

리점의 절대위치 좌표값을 비교한 것으로서 RMSE가 E 방향에서 0.66m, N방향에서 0.62m로 발생하였다.

4.4 3차원 건물 복원

대상지역내 존재하는 건물 중 대표적인 4가지 형태의 건물을 선정한 후 건물의 높이에 따른 LoG 연산자의 임계값을 $\Delta H/30$, $\Delta H/5$, ΔH 의 세 단계로 구분하여 경계선을 추출하였다. LIDAR 필터링 자료로부터 건물의 최저 및 최고 높이를 추출하여 건물의 높이를 결정한 후 LoG 연산자 임계값을 조절함으로써 4가지 건물형태에 대한 건물 외곽선과 지붕 부분의 모양을 파악할 수 있는 등고선 형태의 zero-crossing을 추출하였다(그림 13).

본 연구에서는 LoG 연산자를 통해 추출된 건물 경계선 정보와 건물의 각 모서리점의 평균높이를 계산한 후 대상지역의 다양한 모양의 건물(고/저층형 건물, 박공형, 돔형)에 대하여 각각의 형태별 건물의 프레임을 생성하여

3차원 건물을 복원하였다. 아파트나 학교 건물과 같이 지붕이 평면인 건물은 추출된 경계선, 즉 지붕면과 그 평균 높이를 계산하고 각 모서리 점을 연결하여 건물 벽면을 생성하여 건물을 복원하였다. 박공형 건물은 3.2절에서 제시한 이론에 의해서 상하 인접 경계선간의 경사를 계산하여 지붕면 경계선과 벽면 경계선으로 분류하였으며, 최상위 경계선의 높이정보와 지붕면의 모서리점을 이용하여 3차원으로 복원하였다. 돔형 건물은 지붕면으로 분류된 최저 경계선과 최상위 경계선의 높이정보를 이용하여 최저 지붕면 모서리를 지름으로 하는 원통곡선모양으로 복원하였다(그림 14). LoG 연산자의 임계값을 그림 13과 같이 변화시켜 zero-crossing을 생성하면 건물형태와 지붕모양을 분석하는데 필요한 zero-crossing정보를 사용자에게 제공하여 줄 수 있었다.

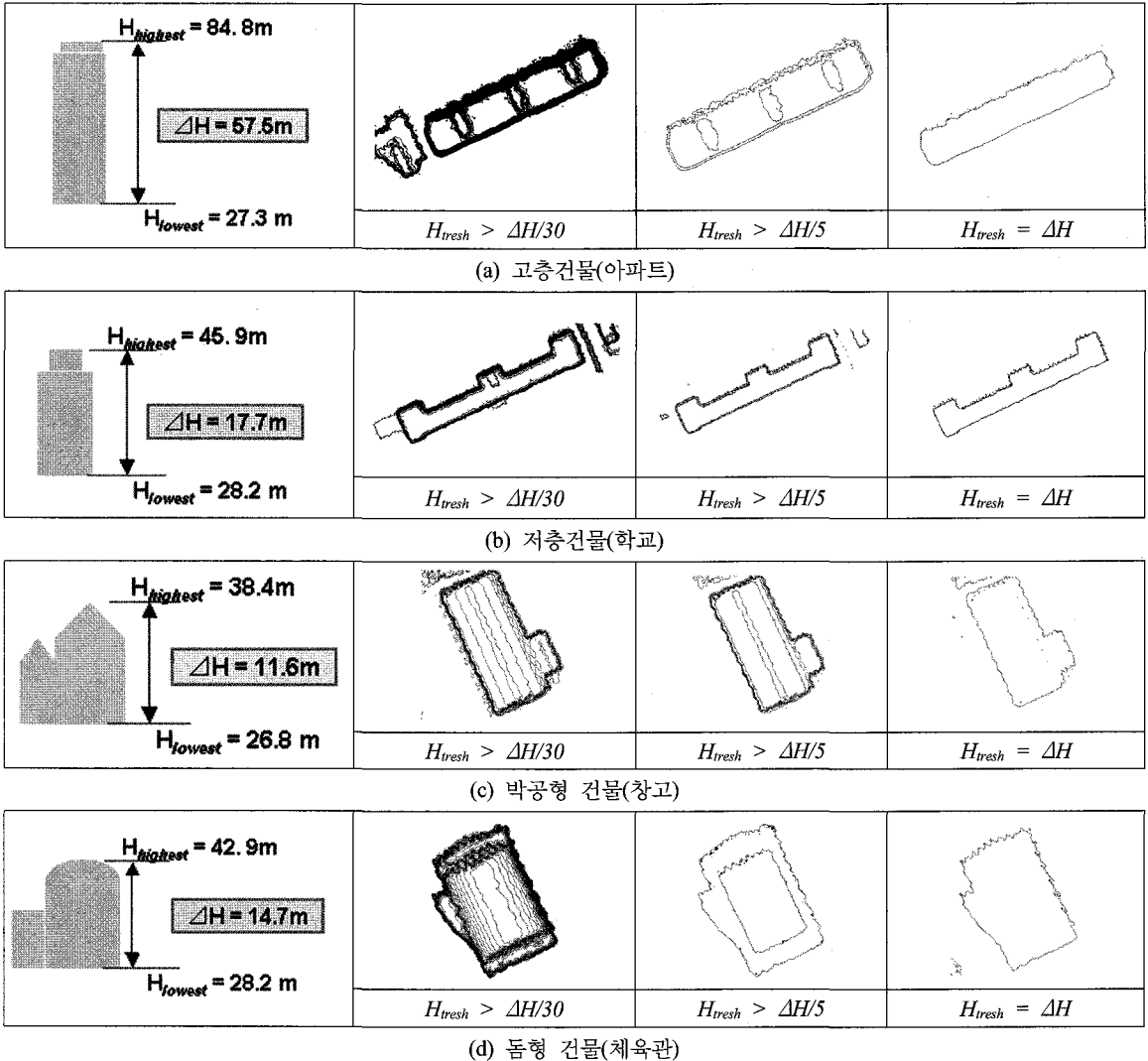


그림 13. 건물모양별 경계선 추출

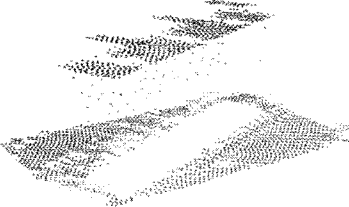
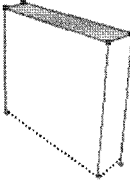
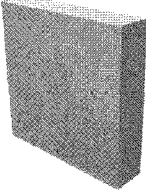
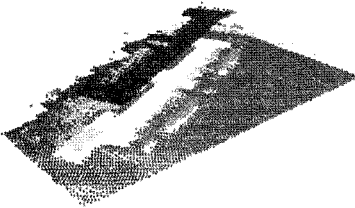
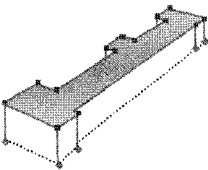
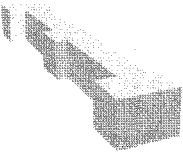
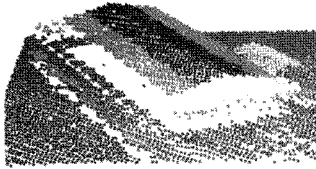
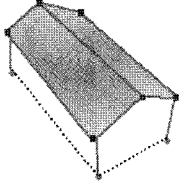
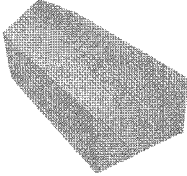

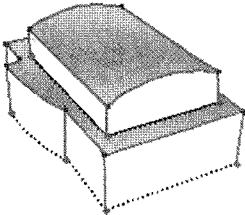
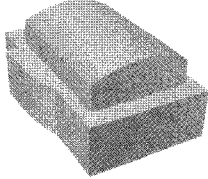
5. 결 론

LIDAR 자료 및 디지털 항공영상, 수치지형도 등의 자료를 활용하여 건물의 경계선 정보를 추출하여 3차원 건물형태를 복원하는 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, Zero-crossing의 특성을 갖는 LoG 연산자를 사용하고 높이에 대한 임계값을 적용하여 건물 경계를 추출하였으며, 추출된 경계선 정보에 Douglas-Peucker 알고리즘을 사용하여 경계선을 직선화 및 정제과정을 거침으로서 3차원으로 건물을 복원하는 기법을 제안하였다.

둘째, LIDAR자료로부터 추출된 건물 경계선의 정확도를 1:1,000 수치지형도 상의 건물 경계선과 비교한 결과 RMSE가 X좌표에서 0.66m, Y좌표에서 0.62m로 발생하였으며, Douglas-Peucker 알고리즘에 의해 경계선이 직선화되는 과정에서 경계선의 모서리부분이 편위되는 현상에 의한 오차도 함께 포함된 것으로 판단된다.

셋째, 향후 보다 정확한 3차원 건물 모형을 위하여 건물지붕의 다양한 형태를 수학적으로 모델하는 과정과 복잡한 구조를 갖는 건물의 형태를 자동추출하는 기법개발이 요구된다.

| LIDAR 자료 | 건물 프레임 생성 | 3차원 건물 복원 |
|---|---|--|
|  |  |  |
| (a) 고층 건물(아파트) | | |
|  |  |  |
| (b) 저층 건물(학교) | | |
|  |  |  |
| (c) 박공형 | | |
|  |  |  |

(d) 돛형
그림 14. 3차원 건물 복원

참고문헌

1. 김형태, 2001, "GIS 건물레이어 자동구축을 위한 LIDAR 데이터와 항공사진의 융합", 박사학위논문, 서울대학교.
2. 정동기, 구신희, 유복모, 유환희, 2005, "필터링에 의한 LIDAR 자료의 지면과 비지면점 분류", 2005 대한토목학회 정기학술대회 논문집.
3. 좌윤석, 2003, "항공레이저 스캐닝 데이터를 이용한 건물 자동 추출에 관한 연구", 석사학위논문, 인하대학교.
4. 이원희, 2002, "수치지도와 LIDAR 자료를 이용한 도시지역 건물 3차원 모델링에 관한 연구", 석사학위논문, 서울대학교.
5. Douglas, D. H. and T. K. Peucker, 1973, "Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature", *The Canadian Cartographer*, 10(2):112-122.
6. Keqi Zhang and Dean Whitman, 2005, "Comparison of Three Algorithms for Filtering Airborne Lidar Data", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 71, No. 3 pp. 313-324.
7. Mass, H. G. and Vosselman, G., 1999, "Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 54, pp. 153-165.

8. Morgan M. and Tempeli K., 2000, "Automatic Building Extraction from Airborne Laser Scanning Data", *Proceeding of the 19th ISPRS Congress*, Book 3B, pages: 616-623, Amsterdam.
9. Wang, Z., 1998, "Extracting building information from LIDAR data", *ISPRS Commission III Symposium on Object Recognition and Scene classification from Multi-Spectral and Multi-Sensor Pixels*, Columbus, Ohio.
10. Weidner, U. and Föstner, W., 1995, "Towards Automatic Building Extraction form High-resolution Digital Elevation Models", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 50, pp. 38-49.