

멀티센서 데이터를 이용한 건물의 3차원 모델링 기법 개발 및 평가

Developing and Valuating 3D Building Models Based on Multi Sensor Data (LiDAR, Digital Image and Digital Map)

위광재¹⁾ · 김은영²⁾ · 윤홍식³⁾ · 강인구⁴⁾

Wie, Gwang-Jae · Kim, Eun-Young · Yun, Hong-Sic · Kang, In-Gu

Abstract

Modeling 3D buildings is an essential process to revive the real world into a computer. There are two ways to create a 3D building model. The first method is to use the building layer of 1:1000 digital maps based on high density point data gained from airborne laser surveying. The second method is to use LiDAR point data with digital images achieved with LiDAR. In this research we tested one sheet area of 1:1000 digital map with both methods to process a 3D building model. We have developed a process, analyzed quantitatively and evaluated the efficiency, accuracy, and reality. The resulted differed depending on the buildings shape. The first method was effective on simple buildings, and the second method was effective on complicated buildings. Also, we evaluated the accuracy of the produced model. Comparing the 3D building based on LiDAR data and digital image with digital maps, the horizontal accuracy was within ± 50 cm. From the above we derived a conclusion that 3D building modeling is more effective when it is based on LiDAR data and digital maps. Using produced 3D building modeling data, we will be utilized as digital contents in various fields like 3D GIS, U-City, telematics, navigation, virtual reality and games etc.

Keywords : 3D Building Construction, Building Modeling, Multi Sensor, Building Layer, LiDAR Data

초 록

현실세계를 컴퓨터에 재현하기 위해서는 건물에 대한 3D 모델링 작업이 가장 필수적인 작업이다. 건물에 대한 3차원 모델링의 방법으로는 항공레이저측량을 통하여 획득된 고밀도 3차원 점 데이터를 기반으로 하여 1:1,000 수치지형도의 건물 레이어를 이용하는 방법과 LiDAR 데이터와 함께 취득되는 디지털 영상을 이용하는 방법으로 구분할 수 있는데 본 연구에서는 각각의 방법에 대하여 1:1,000 수치지형도 1도엽을 대상으로 건물에 대한 3차원 모델링 작업을 실시하여 작업방법을 개발하였으며, 효율성, 정확도 및 재현성을 정량적으로 평가분석하였다. 연구 결과, 단순 건물의 경우에는 수치지형도와 LiDAR 데이터를 이용하는 것이 효율적인 것으로 나타났으며, 모양이 다양하고 복잡한 형태의 건물의 경우는 LiDAR 데이터와 디지털 영상을 이용하여 모델링 하는 것이 효과적임을 알 수 있었다. 또한 모델링된 정확도 평가 결과, LiDAR 데이터와 디지털 영상을 이용하여 건물에 대하여 3차원 모델링 후, 수치지형도와 비교하였을 때, 수평위치가 ± 50 cm 이내인 것으로 나타났다. 따라서 건물에 대한 3차원 모델링 작업은 LiDAR 데이터와 수치지형도의 건물 레이어를 이용하여 효과적으로 수행 할 수 있을 것으로 판단이 되며 구축된 3차원 건물 모델링 데이터는 3D GIS, U-City, Telematics, Navigation, 가상현실 및 게임 등 다양한 분야의 디지털 콘텐츠로 활용할 수 있을 것이다.

핵심어 : 3차원 건물 복원, 건물 모델링, 멀티 센서, 건물 레이어, 라이더 데이터

- 1) 연결저자 · 정희원 · 한진정보통신(주) GIS사업부문·성균관대 건설환경시스템공학과 박사과정 수료(E-mail: gjwe@hist.co.kr)
- 2) 정희원 · 한진정보통신(주) GIS사업부문 연구원(E-mail: eykim00@hist.co.kr)
- 3) 정희원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 부교수(E-mail: yhs@geo.skku.ac.kr)
- 4) 정희원 · 국토지리정보원 공간영상과 영상담당·서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정(E-mail: kig777@mooct.go.kr)

1. 서 론

실세계의 건물을 비롯한 인공구조물에 대한 3차원 모델링에 대한 방법은 3차원 GIS 및 도시정보시스템, 각종 시설물 관리, 자동차 네비게이션, 위치정보서비스, 가상도시, 관광, 게임 등 사회 각 분야에 필수적인 디지털 콘텐츠로 각광을 받고 있다. 따라서 현실세계의 3차원 공간정보를 컴퓨터에 얼마나 빨리 있는 그대로를 효율적이고 정확하게 재현하는 방법에 대하여 관심이 증대되고 있는 실정이다. 이러한 지형지물의 3차원 모델링에 대한 국외 연구를 살펴보면 Vosselman(2000)은 LiDAR 관측점 중 한 점을 선정하여 그 점과 특정 거리에 있는 주위의 점을 비교하여 임계값 이상의 경사가 있을 경우 그 점을 비지면점으로 인식하고 제거하는 방식으로 LiDAR 자료에서 지물을 분리하는 기법을 제시하였으며, Suveg와 Vosselman(2002)는 LiDAR 데이터는 지표면에 대한 고밀도의 정확한 3차원 좌표표를 제공함으로써 지형지물의 분류결과와 3차원 좌표정보를 이용하여 3차원 건물 추출 및 모델링이 가능하다고 제시하였다. 한편, 국내의 연구결과를 살펴보면 이원희 등(2003)은 도시지역의 LiDAR 데이터와 수치지형도의 건물 레이어를 이용하여 건물에 대한 모델링을 실시한 결과 축척 1:5,000 수치지형도의 정확도 규정에 만족한다고 하였다.

본 연구에서는 현실세계를 컴퓨터에 재현하는데 가장 필수적인 인공구조물인 건물에 대한 3D 모델링을 구현하는데 있어서 2가지 방법으로 구분하여 모델링을 실시하였다. 모델링 방법으로는 취득된 LiDAR 포인트 데이터와 디지털 영상을 동시에 사용하여 우선적으로 LiDAR 데이터를 이용하여 건물 외곽선을 자동 추출하였으며 부속건물 등에 대한 보정은 디지털 영상을 사용하였다. 또한, LiDAR 데이터와 1:1,000 수치지형도의 건물 레이어를 사용하여 모델링을 실시하였다. 모델링에 대한 작업효율성, 정확도 및 건물 재현성 측면을 평가하기 위해 각 방법별로 실험지역에 대한 3D 건물 모델링 작업을 실시하여 정성적 및 정량적 평가를 수행하였다. 그림 1은 3D 건물 모델링 작업에 대한 연구 흐름도를 나타내고 있다.

2. LiDAR 데이터를 이용한 건물 모델링 방법

2.1 LiDAR 데이터 분류

항공 LiDAR 데이터를 이용해 3차원 건물 모델링을 하기 위해서는 먼저 취득된 원시 LiDAR 데이터 분류를 실시하여야 하며 원시 데이터는 지상의 모든 지형지물이 혼합되어 있는 것으로 이것을 각각 지형, 식생 및 건물 등으로 분류하여 3차원으로 건물을 모델링할 수 있다.

2.1.1 지표면 분류

지형은 식생과 인공지물인 건물을 제외한 데이터를 말하는 것으로 항공 레이저 스캐너가 취득한 모든 데이터 중 지형만을 분류하기 위해서는 반드시 초기 포인트가 필요하다. 초기 포인트란 지형보다 낮은 높이의 점들(Low Points)을 말하며 오차점(error points)으로 정의 되는 데이터를 의미하며, 이들 초기 포인트를 이용하여 다음으로 높은 지형 데이터를 분류하게 된다. 초기 포인트에 의해 내부적으로 구성되는 삼각망으로 실제 지형 데이터를 찾게 되는데, 이때 필요한 주요 변수(parameters)로는 최대 건물 크기(max building size), 최대 지형 경사(terrain angle), 반복 각(iteration angle) 및 거리(distance) 등이 필요하다. 최대 건물 크기는 연속적인 지형데이터 분류 과정에 의해 지형으로 오해될만한 건물의 최대 크기를 말한다. 즉 지형을 찾아가는 서치 윈도우(search window)가 되는 것이다. 프로그램이 실행되면서 이것은 일정하게 작업 영역을 이동하게 된다. 최소한 서치 윈도우 내에는 지형 데이터가 반드시 존재한다. 다시 말해, 서치윈도우가 최대 건물 지붕 크기보다 더 크기 때문에 서치윈도우 내에 지형데이

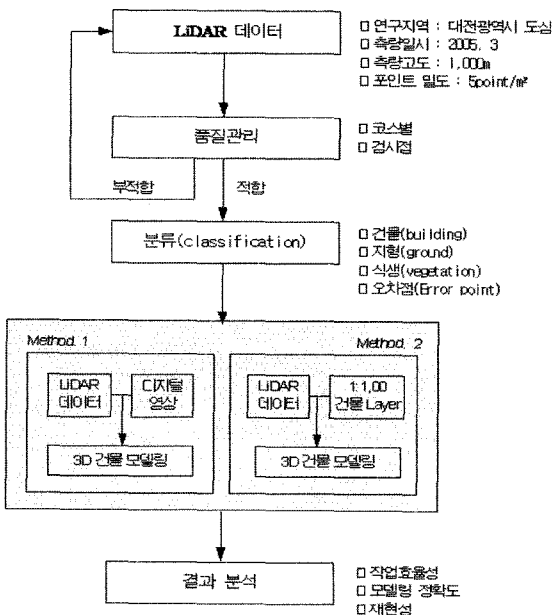


그림 1. 연구 흐름도

터가 조금이라도 포함된다. 최대 지형 경사는 다음에 소개될 반복 각과 거리에 연관된 변수로 지형 포인트를 분류해 갈 때 전체적인 데이터의 지형 경사를 말한다. 특별한 인공 구조물에 의한 경사가 있을 시에는 자연 지형보다 약 1~2° 높여준다. 지형분류 과정에 있어서 가장 주된 변수는 반복 각이다. 이것은 error points에 의해 생성된 삼각망의 모서리(edge)와 가장 근접한 점의 투영 모서리 간에 생기는 각이다. 이것이 입력 값 이내로 만족하면 지형으로 분류되는 과정이다. 포인트 밀도가 낮거나 굴곡이 심한 지형에 대해서는 반복되는 각을 조금 작게 하여 실행하면 쉽게 추출된다. 또한, 반복 각과 거리는 동시에 적용되므로 함께 고려되는 변수이며 반복 각과 더불어 거리는 가까운 점을 삼각망 모서리에 투영하여 생기는 직선의 거리이다. 이것은 지형과 높이 차이가 크지 않은 건물이 알고리즘에 의해 지형으로 분류되는 문제를 해결하기 위해 추가적으로 거리(distance)를 고려하여 높이 값에 한 제치를 두는 것이다.

2.1.2 식생 분류

식생의 분류는 원시 LiDAR 데이터를 이용해 분류한 지형 데이터를 사용하여 지형보다 높이가 큰 것을 분류하여 나타낸 것이다. 일반적으로 지형보다 높이가 큰 것은 주로 식생과 인공지물인 건물로 분류된다. 본 연구에서는 식생의 분류에 있어서 지형으로 분류된 데이터를 이용하여 그 값을 기준으로 하여 일정 높이 범위에 있는 것을 분류하였다. 지형 데이터로부터 0.25m 까지는 낮은 식생,

2m 까지는 중간 식생 그리고 2m 이상은 높은 식생으로 분류하였다. 2m 이상의 높은 식생에는 대부분의 건물들이 존재한다. 따라서 건물 분류는 높은 식생으로부터 분류하게 된다. 그림 2는 식생 분류 결과를 나타낸 것으로 낮은 식생, 중간 식생, 높은 식생 및 지형데이터를 보여주고 있다.

2.1.3 건물 분류

건물 분류의 경우 LiDAR 데이터로부터 분류된 지형 데이터와 2m 이상의 높은 식생으로부터 분류 하는데 대부분의 건물 데이터는 높은 식생 클래스에 포함됨으로 빠르게 추출 할 수 있다. 건물의 경우는 식생과 달리 일정한 면을 구성하는 특징이 있으며 LiDAR 데이터로부터 건물 데이터를 분류하는 데는 건물 최소 크기(minimum size), 건물 지붕의 최대 경사각(maximum angle), 이웃하는 건물간의 최대 간격(maximum gap) 및 부속 건물의 크기(minimum detail) 같은 파라미터(parameters)가 사용된다. 일반적으로 식생은 방사형으로 퍼진 포인트가 군집화하여 존재하는 반면에 건물은 일정한 면(planar surface)을 형성하는 일관성을 가지고 있다. 이러한 건물 데이터를 분류하기 위해서는 지붕면의 최소 크기 및 지붕면의 최대 기울기를 고려하게 된다. LiDAR 데이터에 의하여 형성되는 면이 건물인지 식생인지의 1차적 판단은 건물의 최소 크기에 의해 형성되는 면의 크기로 판단을 한다. 또한 지붕면의 최대 기울기에 의해 지붕 꼭대기에서 처마까지 연속적인 면을 찾아갈 수 있다. 건물의 분류에 있어

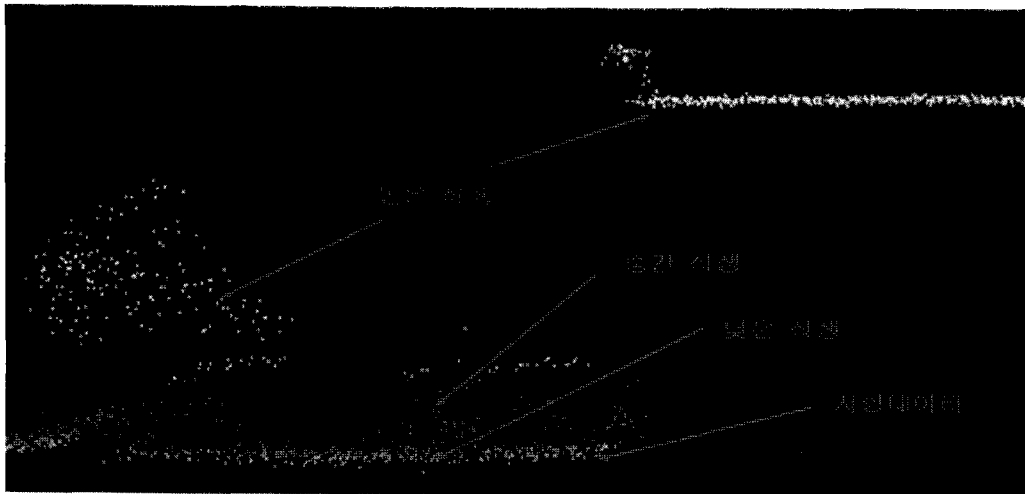


그림 2. 식생 분류 결과

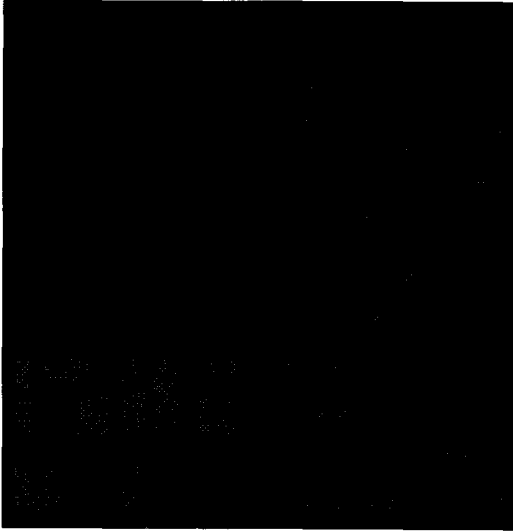


그림 3. 건물 데이터 분류 결과

서 가장 핵심이 되는 것은 건물 간의 간격으로 건물의 경우 지형 데이터 분류와 다르게 불연속적인 것이 특징이며 간격을 두고 분포되어 있기 때문에 이러한 요소는 추출되는 건물 데이터에 큰 영향을 미친다. 건물이 밀집한 도심지의 경우 약 2m 간격으로 설정하였으며 그림 3은 연구 지역에 대하여 건물 데이터 분류 결과를 나타낸 것이다.

2.2 건물 모델링

도시지역 건물들은 외관상 다양한 형태를 가지고 있으나 대부분 건물 지붕면이 평평하고 모서리가 직각이며 좌우 대칭 구조를 가지고 있다. 이들 건물의 외곽선 추출 시에는 기본적으로 직사각형(rectangle), 직각 구조형(rectangular) 및 다각형(polygon)의 3가지 타입으로 가정하여 외곽선을 추출하고 있다. 그림 4는 건물 지붕의 외곽선 유형을 나타내고 있다.

건물의 외곽선 추출은 먼저 건물로 분류된 포인트 데이터로부터 평평한 면을 찾는 다음 지붕면에 대하여 대칭 배치를 하고 지붕면, 옆면, 앞면 및 뒷면 등 각 면에 대하여 평면 방정식(plane equation)을 이용하여 면의 경계를 찾는다. 이때 근접한 면을 이용하거나 교차선(intersection line)을 이용하여 경계선을 정렬한다. 항공 LiDAR 데이터에 의해 구해지는 면은 3D Convex hull 알고리즘에 의해 외곽 포인트들을 따라 결정되며, 3D Convex hull 알고리즘은 하나의 면을 구성하는 유한한 점들의 집합에서 가장자리에 위치하는 점들을 정렬하는 것이다. 구체적으로

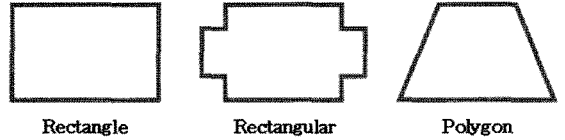


그림 4. 건물 지붕의 외곽선 유형

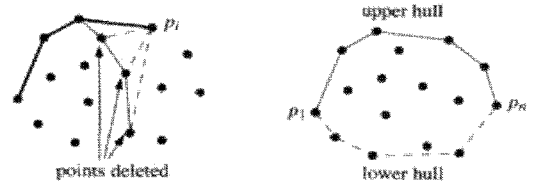


그림 5. Convex hull 알고리즘에 의한 건물 외곽선 추출

로 y축의 최소 점 하나와 x축의 최대 점을 기준으로 나머지 점들 간을 연결하여 반시계 방향으로 각을 측정한다. 또한, 하나의 포인트 군(cloud)에서 포인트 간의 최대 거리를 구하여 외곽선에 배치된 포인트들을 추출하며, 가장 거리가 먼 최 외곽의 포인트들을 추출하여 외곽선을 정의한다. 그림 5는 Convex hull 알고리즘에 의한 건물 외곽선 추출을 나타내고 있다.

$$C = \sum_{i=1}^N \lambda_i p_i : \lambda_i \geq 0 \text{ for all } i \text{ and } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

항공 LiDAR 측량을 통하여 취득된 데이터 중에서 건물로 분류된 포인트를 분석하여 보면 대부분의 포인트는 지붕면에 집중되는 것을 확인 할 수 있으며, 벽면 데이터는 일부분 존재하는 것이 특징이다. 각 지붕면에 존재하는 LiDAR 포인트 데이터로부터 최적의 평면 방정식을 구성하고 두 개의 평면으로부터 지붕면의 교차선을 찾으며, 교차선은 두 평면의 Normal vector에 의한 외적(Cross-Product)으로 산출된다.

2.2.1 LiDAR와 영상이용 방법

본 연구에서 적용한 모델링 방법은 대상 지역 전체에 대해 한 번에 모델링 하는 것이 아니라 1:1 방식이다. 즉, 각 건물에 정의된 외곽 유형에 따라 자동 생성한 후에 사용자의 편집과정(manual process)을 거쳐 복잡한 건물을 제외하고는 쉽고 빠르게 편집 할 수 있는 특성을 이용한 모델링 방법을 적용 하였다. 또한, 이 방법은 디지털영상과 중첩하여 점 데이터로 구별이 힘든 건물을 모델링 할 수도 있다. 그림 6은 디지털 영상과 점 데이터를 중첩한

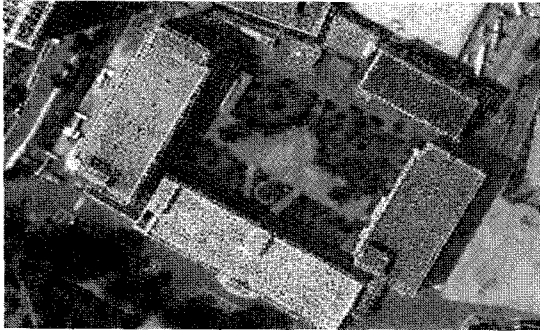


그림 6. 디지털 영상과 점 데이터

것을 나타내었으며, 그림 9는 항공 LiDAR 데이터를 이용한 건물 복원과정을 나타낸 것이다.

2.2.2 LiDAR와 1:1,000 수치지형도의 건물 Layer 이용
 1/1,000 수치지형도의 건물 레이어를 LiDAR 포인트의 건물 분류 데이터와 중첩하면 동일한 위치에 표현이 가능
 한데 이는 수치지형도를 WGS84 좌표 체계로 변환하여 LiDAR의 좌표 체계와 일치시켰기 때문이다. 이 변환은 국토지리정보원에서 제공하는 변환 프로그램을 사용하였다. 따라서 실제 건물의 높이 값과 건물 레이어를 융합하

	<p>1단계 : 건물의 지붕 외곽선을 나타내는 폴리곤이 여러 타입으로 자동 배치된다.</p>
	<p>2단계 : 3가지 타입 중 Rectangle 모양으로 재설정 한다.(아파트)</p>
	<p>3단계 : 자동 배치된 폴리곤들의 방향을 설정하기 위해 옆의 그림과 같이 건물의 방향 벡터를 설정한다.</p>
	<p>4단계 : 최적의 지붕면만 남기고 육안으로 확인 후 필요 없는 지붕 외곽선은 수동으로 삭제한다. 그리고 폴리곤간 인접부분을 확인한다.</p>
	<p>5단계 : 편집된 지붕외곽선을 지형데이터까지 연결한다.</p>

그림 7. 항공 LiDAR 데이터를 이용한 건물 복원 과정

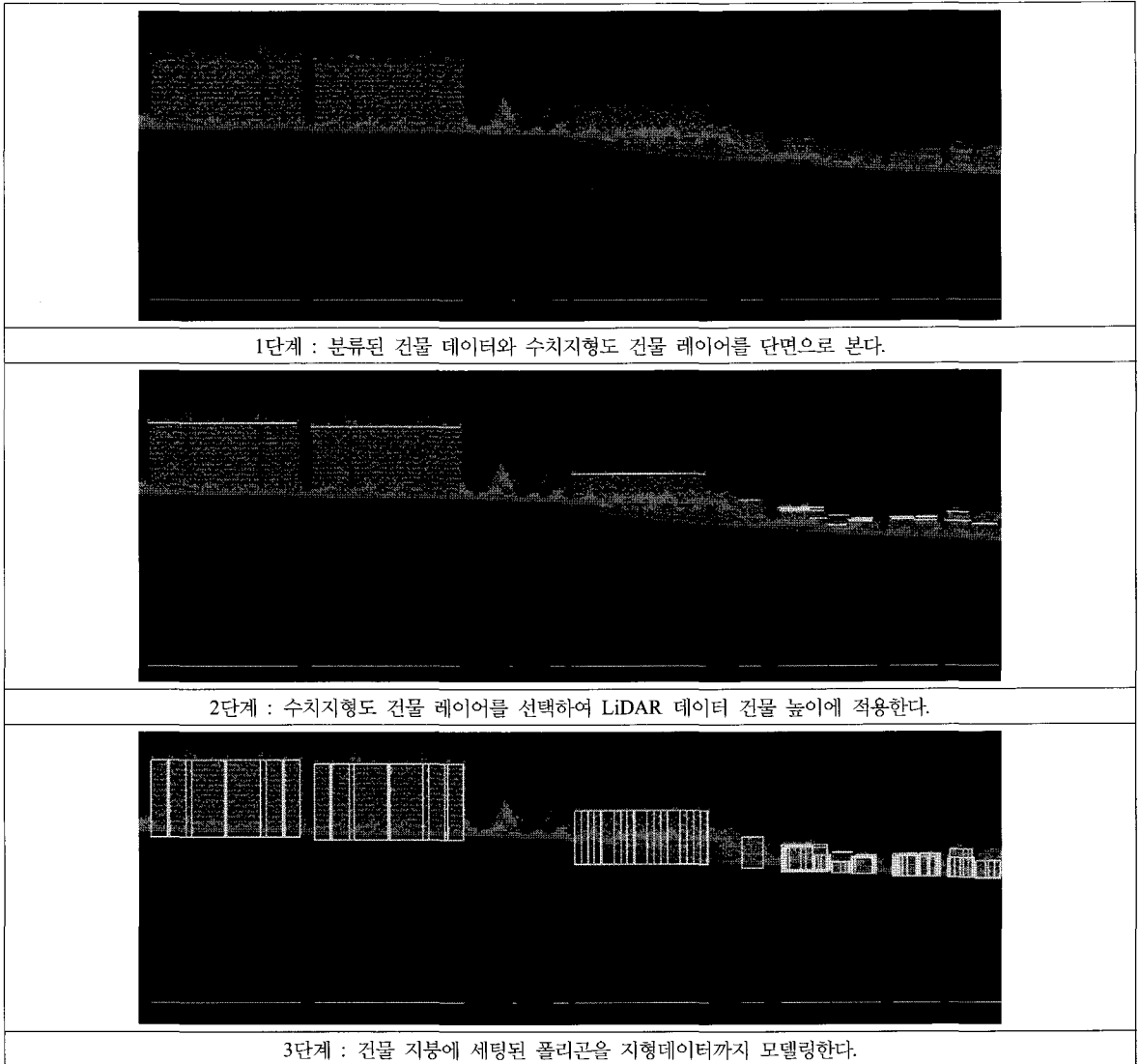


그림 8. 축척 1:1,000 수치지형도 건물 레이어를 이용한 건물 복원 과정

여 사용함으로써 빠르고 쉽게 3차원 건물을 모델링할 수 있다. 그림 8은 1/1,000 수치지형도 건물 레이어를 이용한 건물 복원 과정을 나타낸 것으로 LiDAR 데이터만을 사용한 것과는 달리 여러 건물을 동시에 모델링 할 수 있어 넓은 지역의 단순한 건물에 대해 효과적이라 할 수 있다.

3. 대상지역 데이터 취득 및 처리

3.1 LiDAR 데이터

데이터의 취득은 항공기에 탑재된 레이저 스캐너에서

레이저 펄스를 지상의 대상물을 향하여 발사하고 반사되어 오는 시간을 기록하여 거리를 측정하게 된다. 이때, 레이저 펄스는 반사되는 시간에 따라 멀티 정보를 포함하고 있으며, 레이저 펄스가 지상에 도달하였을 때 펄스폭이 증가하게 되는데 약 1,000m 고도에서 발사된 빔은 지상에서 대략 40cm 정도의 폭을 가지게 된다. 본 연구에서 사용된 장비는 하나의 레이저 펄스에서 총 4개의 멀티 반사 정보를 갖는 장비로 건물 지붕의 경우는 하나의 레이저 펄스가 반사되며, 산림 지역과 같은 지역은 최대 4개의 펄스가 반사된다. 취득 결과 대부분 처음 펄스와 마지

막 펄스 정보가 95%이상 기록되므로 두번째 및 세번째 펄스는 본 연구에서 사용하지 않았다. 표 1은 연구지역의 펄스별 LiDAR 데이터를 나타내고 있다.

연구 지역은 대전시 도심의 아파트 군이 형성된 지역을 선택하여 건물에 대한 모델링을 실시하였으며 1/1,000 수치지형도 한 도엽에 해당되는 면적이다. 그림 9와 같이 연구지역의 고도별로 된 전체 원시 자료를 보면 건물은 지붕면의 데이터가 주로 취득이 된 것을 확인할 수 있다. 따라서 건물 모델링은 지붕 외곽선 추출 후 지형까지 내려주는 방식으로 이루어진다. 그림 10은 비행경로별 LiDAR 데이터로 그림에서 보는 바와 같이 비행경로 별로 취득된 데이터는 서로 다른 경로가 오버랩 되는 부분이 일치해야한다. 따라서 본 연구에서는 비행경로 별로 일치되는 정확도를 검사하였다.

비행경로 별 매칭 검사를 실시 할 때 사용되는 데이터는 GPS/INS와 레이저 스캐너 데이터를 처리한 후에 초기화(Calibration) 과정이 완료된 데이터로 전처리 과정이 수행된 것을 말한다. 표 2는 비행경로별 매칭 검사로 연

구 지역의 LiDAR 데이터의 각 경로별로 삼각망을 구성하여 매칭도를 확인해본 결과 경로별 차이가 13~15cm 정도로 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 본 연구 대상 지역이 포함된 대전시 전체 LiDAR 데이터에 대해 현지 측량한 데이터와 높이 정확도를 비교해본 결과 평균 절대 고도 차이가 약 11cm 로 양호한 결과를 얻은 것으로 확인되었다.

3.2 수치지형도

최근에는 지형공간정보 시스템의 데이터베이스로 많은 부분이 수치지형도로 제작되어지고 있다. 우리나라에서는 이미 항공사진측량을 통해 수치지형도를 전국적으로 구축하고 있으며, 여기에는 건물의 선형 정보가 포함되어 있다. 2002년 이후에는 그동안 공개가 제한되었던 축척 1:1,000 수치지형도를 민간 GIS 분야를 활성화하기 위하여 공급하고 있다. 이러한 수치지형도는 시설물 관리, 도시계획, 도로계획 및 택지개발 등 여러 분야에 활용되고 있지만 건물의 높이 정보가 없는 문제점이 있다. 이에 반

표 1. Pulse별 LiDAR 데이터

GPS Time	Last Pulse				First Pulse			
	Easting	Northing	Height	Intensity	Easting	Northing	Height	Intensity
541215.605338	127091.84	181569.66	23.38	12	127091.84	181569.66	23.38	12
541215.605352	127090.81	181568.75	23.03	9	127090.81	181568.75	23.03	9
541215.605380	127088.71	181566.97	23.20	14	127088.71	181566.97	23.20	14
541215.605408	127086.67	181565.21	23.08	5	127086.67	181565.21	23.08	5
541215.605422	127085.60	181564.32	23.36	7	127085.60	181564.32	23.36	7
541215.605450	127083.56	181562.57	23.36	7	127083.56	181562.57	23.36	7
541215.605464	127082.62	181561.76	23.27	8	127082.62	181561.76	23.27	8
541215.605492	127080.45	181559.92	23.48	12	127080.45	181559.92	23.48	12
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

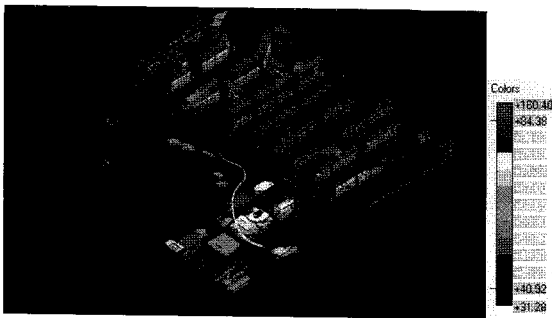


그림 9. 연구지역(대전시 일부)

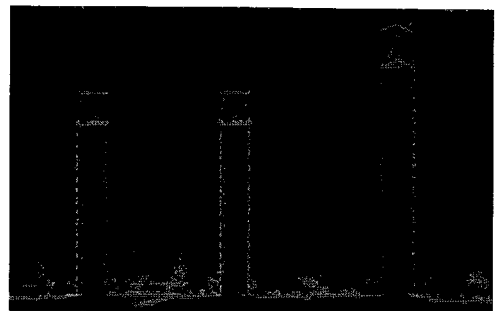


그림 10. 비행경로 별 LiDAR 데이터

표 2. 전체 데이터의 높이 정확도 검사

No.	Easting	Northing	Known Z	Laser Z	Dz	Magnitude	RMS
1	238064.503	320380.639	62.248	62.31	0.062	0.062	0.003844
3	224823.316	325484.384	36.883	37.32	0.437	0.437	0.190969
4	226961.104	323829.111	68.575	68.80	0.225	0.225	0.050625
6	229207.766	321026.779	75.901	76.10	0.199	0.199	0.039601
7	230922.355	318606.910	49.368	49.51	0.142	0.142	0.020164
8	226779.167	318336.773	80.207	80.42	0.213	0.213	0.045369
9	228039.814	315161.457	68.785	68.79	0.005	0.005	2.5E-05
10	229204.810	312611.197	65.247	65.36	0.113	0.113	0.012769
12	231141.963	311580.703	75.313	75.35	0.037	0.037	0.001369
13	230348.807	314336.217	76.086	76.28	0.194	0.194	0.037636
14	230046.382	316814.237	55.532	55.58	0.048	0.048	0.002304
15	233301.901	313546.150	82.899	82.72	-0.179	0.179	0.032041
16	238065.184	320372.833	62.178	62.05	-0.128	0.128	0.016384
17	231971.046	309231.191	59.554	59.62	0.066	0.066	0.004356
18	237989.023	322379.030	51.072	51.17	0.098	0.098	0.009604
19	237639.124	324939.548	60.073	59.96	-0.113	0.113	0.012769
21	237867.697	325954.758	47.336	47.28	-0.056	0.056	0.003136
23	236398.223	325858.477	31.838	31.89	0.052	0.052	0.002704
24	238063.962	323851.637	33.11	32.89	-0.220	0.220	0.0484
25	238181.758	320690.650	79.987	79.92	-0.067	0.067	0.004489
31	237999.521	321067.345	78.759	78.68	-0.079	0.079	0.006241
32	236828.727	317890.407	42.015	41.95	-0.065	0.065	0.004225
33	234391.103	317907.812	44.314	44.31	-0.004	0.004	1.6E-05
34	231958.962	320852.691	49.431	49.48	0.049	0.049	0.002401
35	235549.224	321445.613	51.577	51.56	-0.017	0.017	0.000289
36	236312.916	322830.783	35.356	35.41	0.104	0.104	0.010816
37	234764.560	312935.438	48.372	48.33	-0.042	0.042	0.001764
38	236973.902	313996.148	53.219	53.38	0.161	0.161	0.025921
39	235807.045	315188.197	47.262	47.26	-0.002	0.002	4E-06
40	232851.374	315930.860	86.882	86.73	-0.152	0.152	0.023104
41	230954.714	318440.084	47.364	47.36	-0.004	0.004	1.6E-05
평균						0.107m	
RMS						0.138m	

하여 LiDAR 데이터는 건물의 높이 정보를 취득할 수 있는 장점이 있지만 높이 자료만을 이용한 3차원 건물 모델링은 불규칙한 점들에 대한 선형화 과정과 자동화 후, 편집을 요구하는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 두 자료의 단점을 보완하고 장점을 살려 수치지형도의 평면 정보와 LiDAR 자료의 높이 정보를 결합하여 도시 지역

의 3차원 건물 복원을 실시하고자 한다. 본 연구에서는 대상지역의 1:1,000 수치지형도를 확보하여 건물 레이어에 해당하는 데이터만 따로 분류하여 저장 하였으며, 각 건물 레이어는 닫힌 폐합폴리곤 이어야한다. 그림 11은 연구대상지역의 1:1,000 수치지형도에서 추출한 건물 레이어를 나타내고 있다.

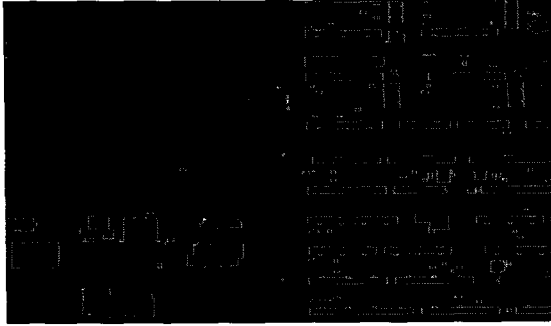


그림 11. 1:1,000 수치지형도 건물 레이더

3.3 디지털 영상

항공 LiDAR 측량 시, 디지털 영상의 취득은 원시 LiDAR 데이터와 동시에 획득되며 디지털 영상은 4,092(along)×4,079(cross) 크기로 비행방향에 대하여 65%의 중복도와 비행경로 간 48%의 중복도로 취득되어진다. 각각의 영상이 가지고 있는 위치 정보(x, y, z)와 회전 정보(ω, ρ, κ)에

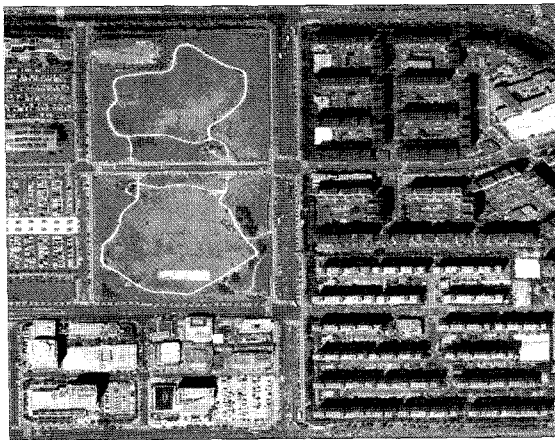


그림 12. 연구 대상지역 디지털 영상

의해 하나로 합쳐진 모자이크 영상을 만들어 내는데 영상은 좌표 정보를 가지고 있으므로 점 데이터와 중첩 시에 동일한 위치를 나타낸다. 그림 12는 연구대상지역의 디지털 영상을 나타내고 있다.

4. 평가 및 분석

4.1 작업 효율성 평가

기존 건물의 3차원 모델링 방법으로는 도화기를 이용한 수동 방식과 스테레오 영상을 이용하여 수치지형도 건물레이어의 높이 값을 추출하는 방식이 있다. 전자의 경우는 도화사의 숙련된 기술과 오랜 시간을 필요로 하기 때문에 다소 어려움이 있으나 스테레오 영상 기법을 이용한 후자의 경우는 최근 많이 이용되는 방식으로 두 개 이상의 영상을 중첩하여 같은 점에 해당하는 좌표를 매칭 하여 3차원 고도 값을 추출하는 방법이다. 본 연구에서는 기존의 도화기 방식과 더불어 LiDAR 데이터를 활용한 새로운 추출 방법인 LiDAR 데이터와 수치지형도 및 LiDAR 데이터와 디지털 영상, 수치지형도 건물 레이더 등을 적용해 각각의 방법에 대해 작업 시간과 방법 등의 효율성 분석을 실시하였다.

연구지역에 대하여 3차원 건물 모델링 방법의 작업 시간 분석 결과는 도화기 방식이 가장 시간이 오래 걸리며, LiDAR와 수치지형도를 활용한 방법이 가장 짧은 작업시간을 보였으며, 모델링된 건물의 시각적 분석을 한 결과는 수작업이 가장 많은 도화기 방식이 실세계를 가장 자세히 표현하는 것으로 나타났다. LiDAR와 수치지형도를 활용한 방법은 실세계의 표현에 있어서 다소 미흡한 면이 있으나 디지털 영상의 보완으로 시각적 효과를 극복할 수 있을 것으로 판단된다. 그림 13은 건물 복원 방법의 작업 시간적 분석을 나타낸 것이며 그림 14는 건물 복원 방법의 시각적 분석을 나타내고 있다.

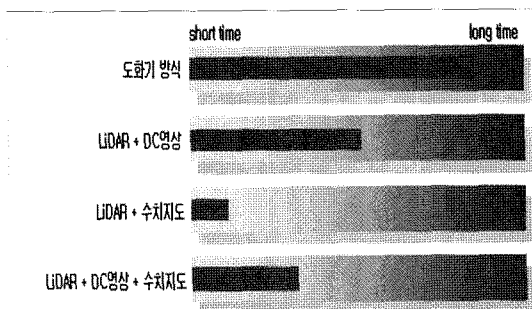


그림 13. 건물 복원 방법의 작업 시간적 분석

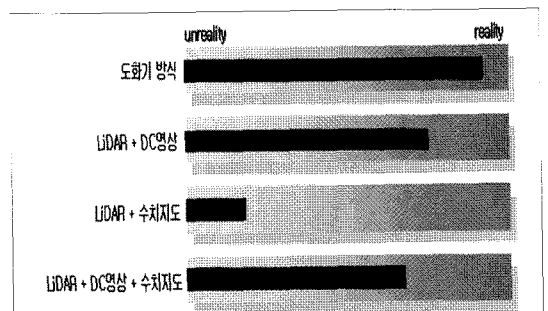


그림 14. 건물 복원 방법의 시각적 분석

분석결과, 작업 시간과 모델링된 건물의 시각적인 평가에 있어서 가장 효과적인 방법은 수치지형도와 LiDAR 데이터를 동시에 사용하는 것이며, 수치지형도의 건물 레이어는 단순히 외곽선만을 표현하고 건물의 실제 높이값과 부속건물의 표현의 한계가 존재하므로 본 연구에서와 같이 LiDAR 데이터와 디지털 영상을 동시에 사용하여 3차원 모델링 하는 것이 효율적이라 판단이 된다.

그림 15는 건물 복원의 4가지 방법을 나타낸 것으로 건물 하단의 경우 수치지도의 선형 정보에 의해 모델링된 것이고 건물의 상단에 추가된 모델은 항공 LiDAR 데이터에 의해 모델링한 결과이다. 이러한 작업을 통하여 도시지역의 3D 데이터를 구축하는 시간의 단축과 작업 효율성을 극대화 할 수 있을 것으로 보인다.

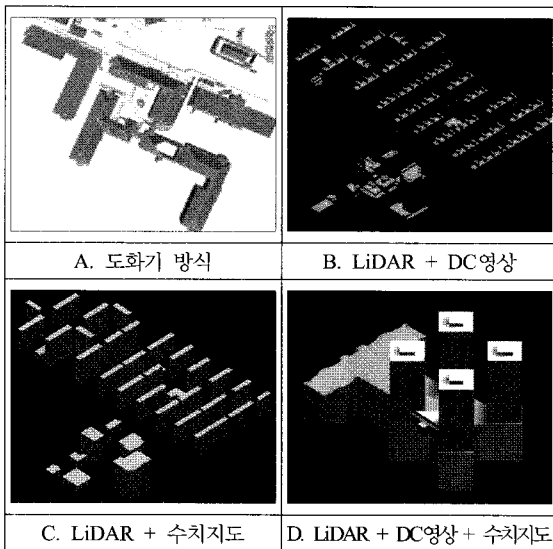


그림 15. 건물 복원의 4가지 방법

4.2 모델링 정확도 평가

연구지역에 대하여 LiDAR 데이터로부터 모델링한 건물과 기존 1/1,000 수치지형도의 건물레이어와 정확도를 평가하였다. 수치지형도의 건물 레이어는 평면 벡터이므로 X,Y축 방향 정확도만 평가할 수 있었다. 그림 16은 아파트 건물 복원결과를 비교한 것으로 파란색은 LiDAR에 의해 모델링한 결과이며 검은색은 수치지형도 건물 레이어이다.

그림 17은 연구 대상지역의 건물 복원 결과를 나타낸 것으로 연구 대상 지역에 대해 위치 정확도를 검사한 결과 최소 5cm에서 최대 37cm 까지 차이를 보였는데 이는 항공 LiDAR 장비가 제공하는 수평정확도가 고도 2,000m에서 50cm 이내로 높은 정확도의 건물 복원이 이루어 졌음을 확인 할 수 있었다.

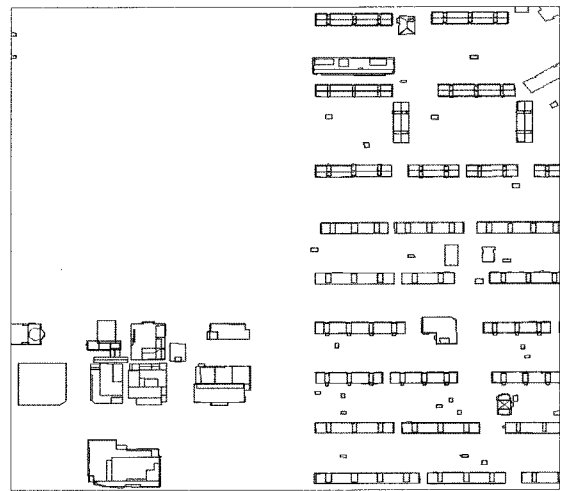


그림 17. 연구 지역의 3차원 건물 모델링 결과

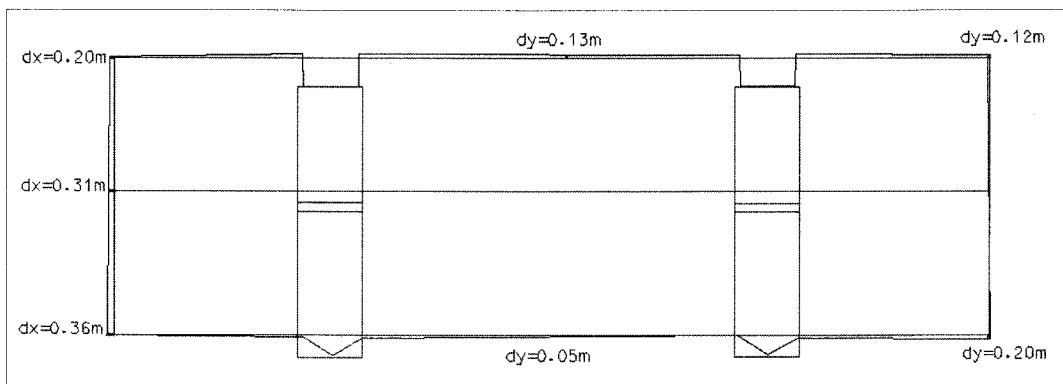


그림 16. 위치정확도 평가 - 검은색(수치지형도), 파란색(LiDAR)

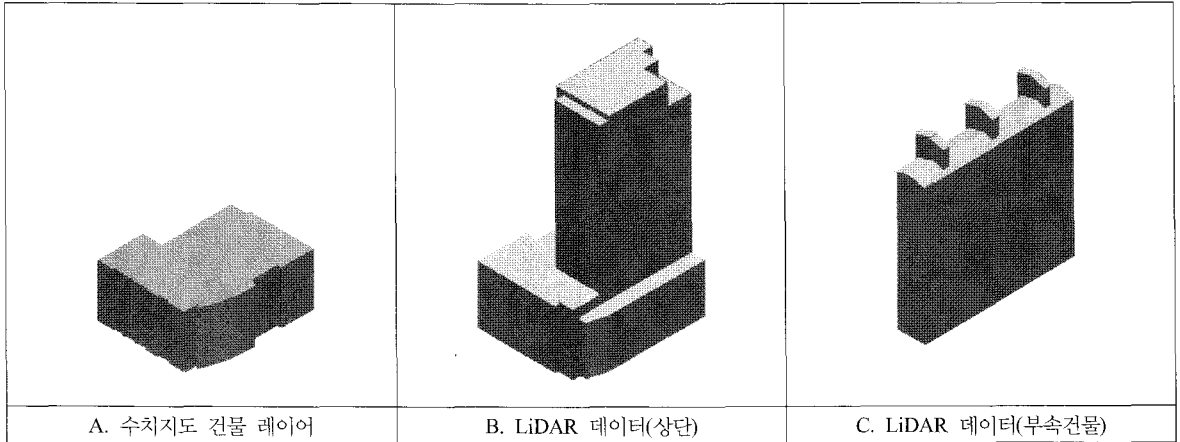


그림 18. 건물 벡터 추출 결과 비교

4.3 건물 재현성 평가

LiDAR 데이터와 디지털 영상을 가지고 건물을 복원한 것과 단순히 수치지형도만을 모델링한 결과는 시각적으로 모델링결과에 대하여 차이가 있음을 알 수 있다. 수치지형도의 건물 선형 자료는 건물의 바닥면만을 표현 하였으므로 복잡한 건물 형태를 재현하는 데에는 한계가 많다. 그러나 LiDAR 데이터는 건물 상단과 옥상의 부속 건물에 대하여 자세한 모델링 및 재현이 가능하다.

그림 18은 복잡한 형태의 건물 재현 결과를 비교한 것으로 A와 B는 같은 건물에 대해 각각 수치지형도와 LiDAR 데이터를 이용한 결과이다. 건물의 하단 선형 정보만 있는 수치지형도는 건물을 모두 표현하는 데에는 한계가 있으나 LiDAR 데이터는 상단 부분까지 자세한 재현이 가능하며 C와 같이 아파트의 옥탑 부속건물도 쉽게 모델링 할 수 있다. 따라서 수치지형도는 단순 주택 건물에 사용하고 실세계에 가장 가깝게 표현하기 위해서는 LiDAR 데이터를 활용해 건물을 모델링하는 것이 타당하리라 본다.

지역에 대해선 불필요한 시간낭비가 발생 하게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해 1:1,000 수치지형도의 건물 레이어를 이용하여 LiDAR 데이터에서 실제 건물 높이 값을 주어 모델링 한 결과 빠른 속도로 모델링이 되었다. 그러나 수치지형도의 건물 레이어가 바닥면만 표현한 선형 정보이기 때문에 실세계 도심 모델링에는 한계를 나타내었다. 이에 본 연구에서는 LiDAR 데이터와 수치지형도를 함께 사용함으로써 작업 효율성, 정확도, 재현성 등을 정량적으로 제시하여 비교·평가 하였다. 따라서 도시지역의 3차원 건물 모델링시에 단순 주거건물은 수치지형도로 모델링하고 형태가 복잡하거나 중요 건물의 경우는 LiDAR 데이터와 디지털 영상으로 자세한 모델링함으로써 도시 지역의 건물을 실세계에 가장 가깝게 복원할 수 있을 것으로 예상된다. 더불어, 3D GIS, u-City, Telematics, Navigation, 가상현실 및 게임 등 다양한 분야의 디지털 콘텐츠 제작 시에 작업시에 효과적으로 활용될 것으로 전망이 된다.

5. 결 론

본 연구는 항공 LiDAR 데이터를 이용하여 도시 지역에 건물들에 대하여 3차원 모델링 하는 과정을 제시하였다. 모델링 방법으로는 크게 LiDAR 데이터와 디지털 영상을 이용한 방법과 LiDAR 데이터와 1:1,000 수치지형도를 이용한 두 가지 방법으로 제시하였다. 연구결과, LiDAR 데이터와 디지털 영상을 이용하였을 때, 실제 건물과 가장 비슷하게 모델링 및 재현할 수 있었다. 그러나 건물을 하나씩 일대일 방식으로 추출해야 하므로 단순 주거 건물

참고문헌

- 김상일 (2005), LiDAR 데이터 및 수치지형도를 이용한 건물의 3차원 모델링 기법 개발, 석사학위논문, 경기대학교 산업정보대학원.
- 손호웅, 김영경, 김기영 (2006). 다중센서 데이터를 이용한 구조물의 3차원 모델링, 지구물리학회지, Vol. 9, No. 1, pp. 7-19.
- 이원희, 유기운 (2003), 수치지도와 LiDAR 자료를 이용한 도시 지역 건물 3차원 모델링, 대한원격탐사학회 2003 공동 춘계 학술대회 논문집, pp. 394-399.
- Berg, Mark De, Kreveld Marc Van, Computational Geometry- Algorithms and Applications, Springer.
- Carla Nardinocchi, Gianfranco Forlani, Classification and Filtering

- of Laser data, ISPRS Commission III, WG3.
- Ellen Schwalbe, Hans-Gerd Maas. (2005), 3D Building Model Generation from Airborne Laser Scanner Data Using 2D GIS data and Orthogonal Point Cloud Projections, ISPRS WG III/3, September, pp. 12-14.
- E.Steinle, F.H. Oliveira, Assessment of Laser Scanning Technology for Change Detection in Buildings, University of Karlsruhe Institute for Photogrammetry and Remote Sensing
- F. Rottensteiner and Ch. Briese. (2003), Automatic Generation of Building Models from LiDAR data and the Integration of aerial images, ISPRS, Vol. XXXIV, Dresden.
- F. Rottensteiner, J. Trinder. (2005), Automated Delineation of Roof Planes from LiDAR data, ISPRS WG III/4, September, pp. 12-14.
- H. Kaartinen, J. Hyypa (2005), Accuracy of 3D city models: EuroSDR comparison, ISPRS WG III/3, September, pp. 12-14.
- Keqi Zhang, Shu-Ching Chen (2003), A Progressive Morphological Filter for Removing Nonground Measurement From Airborne LIDAR Data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 41, No. 4.
- Michel Morgan, Ayman Habib. (2003), 3D TIN for Automatic Building Extraction from Airborne Laser Scanning Data, University of Ohio State.
- Suveg D, Voddelman G. (2002), Reconstruction of 3D building models from aerial images and maps, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 58(3-4), pp. 202-224.
- T. Voegtle, E Steinle. (2005), Airborne Laserscanning Data for Determination of Suitable Areas for Photovoltaics, ISPRS WG III/3, September, pp. 12-14.
- Yong Hu. (2003), Automated Extraction of Digital Terrain Models, Roads and Buildings Using Airborne Lidar Data, GEOMATICS ENGINEERING UCGE Reports Number 20187.
- Vosselman, G. (2000), Slope based filtering of laser altimetry data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII, Part B3, pp. 958-964.

(접수일 2006. 11. 16, 심사일 2006. 11. 21, 심사완료일 2006. 12. 29)