

수치지도와 LiDAR 자료를 이용한 도시지역 건물 3차원 모델링

The 3-dimensional modeling of buildings in urban areas using digital maps and LiDAR data

이원희, 유기윤

Won Hee Lee, Kiyun Yu

서울대학교 지구환경시스템공학부, 02-880-7371

wonny7511@hanmail.net, kiyun@plaza.snu.ac.kr

요 약

도시 지역의 대부분을 차지하는 건물에 대한 3차원 정보는 도로, 교통 등의 시설물관리시스템 구축, 도로계획, 택지개발, 도시계획 등 여러 분야에 필요하다. 현재 항공사진, 고해상도 위성영상, LiDAR 자료, 수치사진측량 시스템 등의 보급과 분석 알고리즘의 발전으로 인하여 도시지역 건물 3차원 모델링에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 그중에서 정밀한 DSM 취득이 가능한 LiDAR 자료가 도시지역 건물 3차원 모델링에 가장 유망한 자료이다. 그러나 LiDAR 자료만을 이용할 경우에는 선형화 과정 등의 수작업이 많이 들어가고, 주관적인 재구성과정이 들어가야 하는 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 수치지도를 LiDAR 자료와 같이 이용하여 건물 3차원 모델링시 작업자의 수동적인 과정을 단축하였다. 항공사진과 해석도화기를 이용한 정확도 평가 결과 1:5,000 수치지도 정확도 규정을 만족하는 도시지역 건물 3차원 모델링이 가능하였고, 비교적 자동화된 공정을 이루었다.

1. 서 론

지형공간정보시스템(GIS)에 필수적인 요소로는 데이터베이스를 들 수 있으며, 데이터베이스 중 많은 부분이 수치지도로 제작되어 있다. 우리나라에서는 이미 항공사진측량 등을 통해 수치지도를 전국적으로 구축하여 왔고 여기에는 건물의 평면 선형이 포함되어 있다. 수치지도(1:5,000, 1:25,000)는 '98년부터 유상공급 및 무상공급으로 구분하여 정부지도판매 대행업체를 통하여 공급하고 있으며, 2002년 7월 1일부터 그동안 공개 제한 지리정보로 분류되어 일반에 공개하지 않았던 1:1,000 수치지도를 민간 GIS분야를 활성화하기

위하여 공급하고 있다.

1990년대에 들어서 상용화된 ALS (Airborne Laser Scanning) 시스템이라고도 불리는 LiDAR(Light Detection And Ranging) 자료는 여타 다른 수치표고자료 획득 기법에 비해 높은 정확도와 조밀한 밀도를 가지고 있어서 3차원 도시 건물 모델링에 필요한 높이정보를 제공하고 있다. 우리나라에서는 2000년 4월에 (주)모바일 매퍼에 의해 분당지역의 LiDAR 시험촬영이 있었으며, 2002년 9월경에 서울과 안성지역을 나누어서 촬영하였다.

전국적으로 구축되어 있는 수치지도는 시설물 관리, 도시계획, 도로계획, 택지개

발 등 여러 분야에 활용되고 있지만 건물의 높이정보가 없는 문제점이 있다. 반면에 LiDAR 자료만을 이용한 기존의 도시지역 건물의 3차원 모델링 방법들은 분할과 선형화 과정들이 필요한 문제점과 LiDAR 자료의 수평위치 정확도가 떨어지는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 두 자료의 단점을 보완하고 서로의 장점을 살리기 위하여 수치지도의 평면정보와 LiDAR 자료의 높이정보를 결합하여 도시지역 건물에 대한 3차원 모델링을 실시하고자 한다. 또, 수치지도와 LiDAR 자료를 중첩하여 건물 3차원 모델링시 실용화 측면에서 다양한 경험적 분석을 하고 자동화 가능성을 평가하여, 향후 수치지도 높이자료에 LiDAR 자료의 활용 가능성을 평가하고자 한다. 본 연구의 흐름도는 그림 1과 같다.

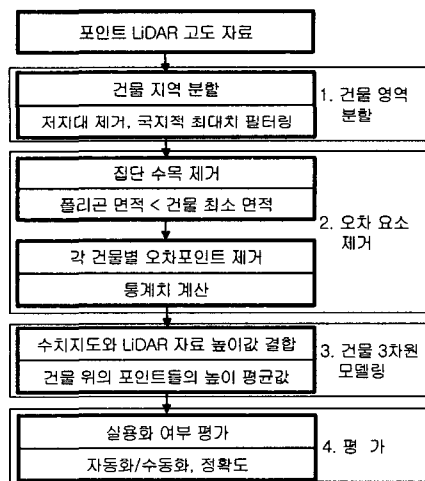


그림 1. 연구의 흐름도

2. 연구 동향

1990년대 후반 이후 LiDAR 자료를 이용한 3차원 모델링에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. LiDAR 자료만을 이용할 경우 건물의 선형화, 복잡한 형태의 건물

표현 등의 어려움으로 인하여 반자동 방법이 주로 사용되었다. 요즘은 LiDAR와 항공사진, 수치지도와 같은 보조 자료를 결합하려는 연구도 진행되고 있다.

Morgan과 Tempeli(2000)은 비정규 높이점들을 정규격자로 만든 다음 수리형태학적 필터를 사용하여 건물과 비건물 지역을 분할해 내고 이 분할된 건물을 더 작은 분할지역으로 나누어서 건물을 재구성하였다. 이 방법은 건물과 지형에 대한 초기 정보를 필요로 한다. Seresht와 Azizi(2000)은 항공사진과 DEM을 이용하여 건물 자동 모델링을 시도하였다. 처음에 DEM으로부터 건물지역을 대략적으로 인식한 다음, 몇가지 필터들을 적용하여 건물을 자세하게 인식한 후 경계선을 직선으로 만들어서 건물을 재구성하였다. Wang(2000)은 높은 정확도의 DSM을 가지고 경계선을 검출하고 건물을 추출한 후에 추출된 건물 포인트로 TIN 모델을 구성하였다.

국내에서는 건물지역 초기분할에 대하여 김형태(2001)가 LiDAR 원자료로부터 건물을 자동 분할하고 건물을 재구성하는 알고리즘을 개발하였으며, 이를 초기가정으로 항공사진과 융합하는 알고리즘을 제시하였고, 오재홍(2001)은 국지적 최대치 필터링(local maxima filtering)과 TIN(Triangular Irregular Network) 구조를 활용하여 건물 외곽선을 추출한 후에 특징점 추출을 통하여 건물 외곽선을 단순화시켰다.

3. 도시지역 3차원 모델링

3.1. 대상지역 및 자료

LiDAR 자료의 취득일시는 2000년 4월 이고, 수치지도는 국립지리원의 1:5,000 축척의 지도로 사용된 LiDAR 자료와 지역이 일치한다. 대상지역은 아파트와 같은

고층 건물과 주택과 같은 저층건물이 혼재되어 있는 대한민국 경기도 성남시 분당지역 일대이다. LiDAR 자료 획득에 사용된 장비는 캐나다 Optech 사의 ALTM1020이며 고정익 항공기 PA-31-350에 탑재하여 측량을 수행하였다.

3.2. 건물 영역 분할

LiDAR 자료는 포인트 자료의 형식을 지니고 있으므로, 벡터 도메인이다. 따라서 건물 영역을 분할해내기 위해서 국지적 최대치 필터링을 사용하였다. 필터 크기는 $30m \times 30m = 900m^2$ 로 대상지역의 건물을 대부분 포함할 수 있는 크기로 설정하였고, 높이 임계값은 9m로 3층 건물 높이를 임계값으로 사용하였다.

국지적 최대치 필터를 적용하기 전에 저하도와 같은 저지대를 제거하였으며, 저지대 제거 필터의 매개변수로는 “ $2 \times \sigma$ ”를 사용하였다. 초기 분할된 건물 구성 포인트들은 그림 2와 같다.

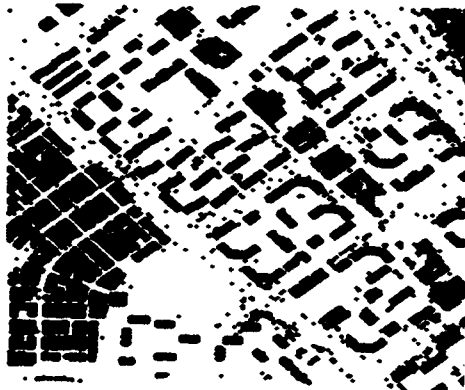


그림 2. 초기 분할 건물 구성 포인트

3.3. 오차 요소 제거

3.3.1. 집단 수목 제거

앞에서 추출한 포인트들로 폴리곤을 만들면 집단 수목과 같은 폴리곤도 포함되므로 최소면적 $50m^2$ 을 기준으로 최소면적

이하의 폴리곤은 제거하였다. 최소면적보다 큰 지역의 산림지역은 항공사진과 비교하여 제거하였다. 그림 3은 집단 수목을 제거한 폴리곤이다.

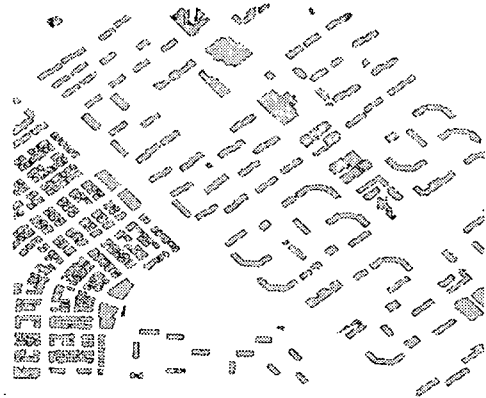


그림 3. 집단 수목 제거 폴리곤

3.3.2. 레이블링과 각 건물별 인접 오차 포인트 제거

포인트 자료와 단위 폴리곤을 중첩하여 레이블링을 실시한 후, 낮은 베란다의 높이 자료와 같이 평균 옥상 높이와 차이가 나는 포인트들을 오차로 간주해 제거하였다. 임계값은 “평균 - $2 \times \sigma$ ”를 사용하였다.

3.4. 건물 3차원 모델링

앞의 과정을 통하여 추출된 LiDAR 포인트와 수치지도를 이용하여 3차원 모델링을 실시하였다. LiDAR 포인트는 실제 지상으로부터의 높이가 아니라, WGS84 데이텀 기준높이이기 때문에 그림 4와 같이 실제 건물보다 높게 나타나게 된다. 따라서 건물의 높이를 구하는 과정이 필요하며, DSM에서 DEM의 차가 높이값에 해당된다. DEM을 생성하기 위해 원자료에서 국지적 최대치 필터링을 통해서 초기 분할한 건물들의 포인트를 뺀 나머지 포인트 자료를 가지고 크리깅 보간을 사

용하여 DEM을 제작하였다. 그림 5는 구형모델을 사용한 정규 크리깅에 의한 DEM이다.

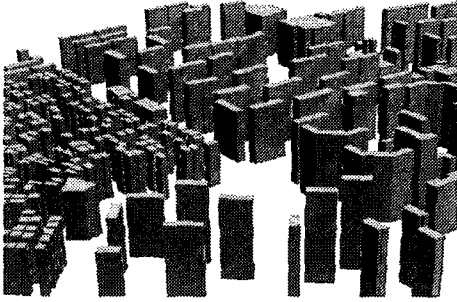


그림 4. 초기 건물 모델링

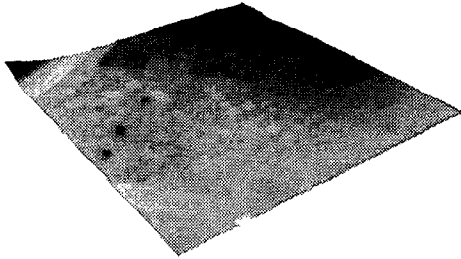


그림 5. 크리깅 보간에 의한 DEM

그 다음 DEM과 모델링한 건물을 중첩시켰다. 중첩시에는 해당 건물들의 DEM 높이에서부터 건물 높이를 추출하였다. DEM보다 낮은 높이의 건물 부분은 삭제를 하여 실제 건물과 같은 높이를 추출하였다. 그림 6은 DEM과 건물을 중첩한 모델이다.

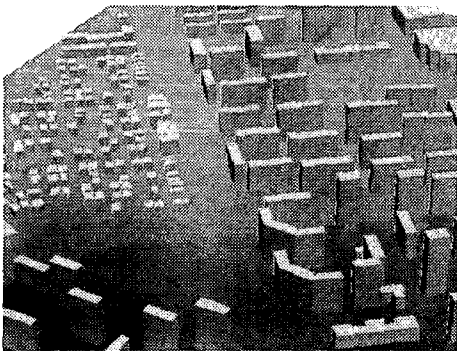


그림 6. DEM과 건물을 중첩한 모델링

4. 건물 3차원 모델링 정확도 평가

실제 건물들의 모양에 따른 재구성이 아닌 LiDAR 포인트 자료들의 높이값 평균을 이용한 3차원 모델링이기 때문에, 정확도 평가는 각 건물들의 평균 높이를 구하여 수행되었다. 정확도 평가를 위해서 본 연구에서는 좌·우 항공사진에서 수동으로 건물별로 15점~20점 정도의 특이점들을 추출하여 기준값을 구축한 후 그 점들의 평균값을 사용하였다. 건물 지붕이 아파트 같은 경우는 엘리베이터 탑이 있는데, 전체 아파트 지역에서 엘리베이터 탑이 차지하는 면적의 비율을 계산하여 그 비율에 맞게 특이점의 수를 배정하였다. 엘리베이터 탑이 차지하는 면적이 20% 정도이면 전체 특이점에서 지붕에서의 특이점의 수가 20% 정도가 되게 하였다. 정확도 평가는 전체지역을 대표할 수 있는 일부 지역에 대하여 실시하였다. 즉 고층건물과 저층건물이 혼재되어 있는 지역으로 정확도 평가를 하였다. 정확도 평가대상지역의 정확도 평가 건물은 그림 7과 같다. 정확도 평가 건물은 고층건물인 아파트 30동 전체와 저층건물인 주택과 상가 36동에 대하여 실시하였다.

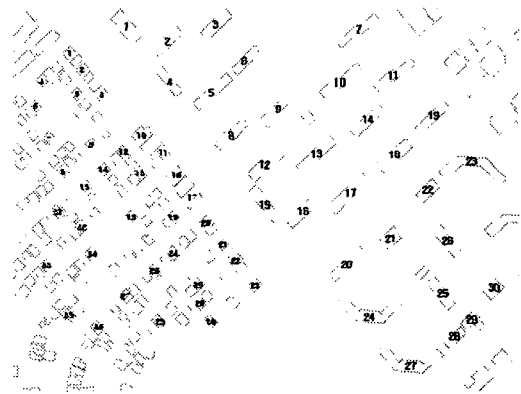


그림 7. 정확도 평가지역 기준자료 일련번호

표 1. 고층 건물 수직위치 정확도 평가

고층 건물(아파트) 수직위치 정확도 평가 (단위:m, WGS84 좌표계)							
건물 번호	모델링	기준값	오차	건물 번호	모델링	기준값	오차
1	91.50	91.83	0.32	16	104.20	104.79	0.59
2	111.54	112.00	0.46	17	113.27	113.63	0.36
3	110.87	111.06	0.19	18	107.81	107.96	0.15
4	93.36	93.68	0.32	19	109.29	109.69	0.40
5	109.23	109.48	0.25	20	112.10	112.38	0.28
6	111.15	111.55	0.40	21	141.64	141.79	0.15
7	119.40	120.00	0.60	22	128.58	128.95	0.37
8	101.85	102.31	0.46	23	119.88	120.37	0.49
9	111.05	111.51	0.46	24	118.70	118.94	0.24
10	119.38	119.41	0.02	25	109.08	109.55	0.47
11	120.31	120.80	0.49	26	106.04	106.17	0.13
12	102.97	103.24	0.28	27	116.59	116.74	0.15
13	112.36	112.50	0.15	28	128.23	128.61	0.38
14	108.62	109.01	0.40	29	86.46	86.94	0.49
15	96.10	96.31	0.21	30	146.59	146.75	0.16
평균 오차							0.33
최대 오차							0.60

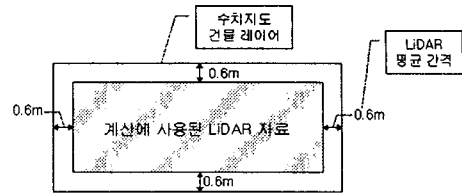


그림 8. 실제 계산에 사용된 LIDAR 포인트 자료

저층건물들은 고층건물들과 달리 모두 낮지는 않았다. 저층건물들은 완전하게 평면인 지역도 있고, 엘리베이터 탑처럼 옥상부분에 튀어나온 부분도 있지만 그 높이가 엘리베이터 탑처럼 높지 않기 때문에 평균 높이값계산이 큰 영향을 미치지 않았다. 평균오차 0.419m와 최대오차 0.638m는 1:5,000 수치지도 정확도 규정을 만족하고 있다.

처음에 LiDAR 자료로부터 높이를 구한 값이 기준값에 비하여 3~4m씩 낮았는데, 그 이유는 아파트 윗부분의 벽면을 맞고 나온 자료들이 완벽하게 제거되지 않았기 때문이다. 아파트 윗부분의 자료는 평균 높이와 차이가 크지 않기 때문에 오차 포인트 제거에서 아파트 옥상 높이로 간주되어 없어지지 않았다. 이 포인트들을 제거하기 위하여 수치지도로 구성된 건물 폴리곤보다 LiDAR 포인트들의 평균 간격인 0.6m씩 안쪽으로 있는 포인트들만 사용하여 높이값을 구하였다. 여전히 결과가 기준값보다 모두 낮게 나왔는데, 그 이유는 아파트 폴리곤 안에 있는 엘리베이터 탑의 옆면을 맞고 나온 포인트들이 높이값 계산에 포함되기 때문에 이 점들로 인하여 전체 평균이 낮아지게 되었다. 평균 오차 0.326m와 최대오차 0.602m는 1:5,000 수치지도 정확도 규정(표준편차 : 수평 1m, 수직 0.5m, 최대오차 : 수평 2m, 수직 1m)을 만족하고 있다.

표 2. 저층 건물 수직위치 정확도 평가

저층 건물(주택, 상가) 수직위치 정확도 평가 (단위:m, WGS84 좌표계)							
건물 번호	모델링	기준값	오차	건물 번호	모델링	기준값	오차
1	74.89	74.43	0.46	19	75.73	76.06	0.33
2	73.05	73.56	0.51	20	75.22	75.66	0.44
3	73.04	73.53	0.49	21	76.86	77.08	0.21
4	73.96	73.60	0.36	22	77.46	77.93	0.47
5	74.27	74.81	0.54	23	79.10	78.75	0.35
6	73.83	74.44	0.61	24	76.27	75.89	0.38
7	75.80	75.30	0.49	25	76.35	76.88	0.53
8	75.99	75.52	0.47	26	75.99	76.55	0.57
9	74.30	74.66	0.36	27	77.03	77.44	0.41
10	83.56	84.01	0.45	28	77.25	76.62	0.64
11	82.75	82.49	0.26	29	76.76	76.95	0.19
12	75.26	75.56	0.29	30	77.66	78.23	0.56
13	74.45	74.81	0.36	31	74.07	74.56	0.49
14	74.55	75.04	0.49	32	75.10	75.51	0.41
15	74.96	75.38	0.42	33	75.55	75.95	0.40
16	83.52	83.77	0.25	34	75.13	75.64	0.51
17	84.71	84.33	0.38	35	74.19	74.63	0.44
18	75.80	75.49	0.32	36	75.27	75.76	0.49
평균 오차							0.43
최대 오차							0.64

5. 결 론

본 연구를 통하여 얻게 된 경험적 결과는 다음과 같다.

첫째, 수치지도와 LiDAR 자료를 같이 사용한다면 추출된 건물높이 정확도는 고층건물과 저층건물에 상관없이 1:5,000 수치지도 정확도 규정을 만족하고 있었다. 따라서 GPS 수신국 설치, 휴대전화 기지국 설치, 차량항법 디스플레이 등에 사용할 것으로 판단된다.

둘째, 고층건물 3차원 모델링의 경우 모델링 건물들의 높이 값이 모두 기준값에 비하여 낮게 나왔는데, 이는 엘리베이터 탑 옆면을 맞고 나온 LiDAR 자료들이 포함되었기 때문이다. 엘리베이터 탑 옆면의 자료들은 지붕과 같은 수평위치 좌표 값을 갖고, 지붕과 거의 비슷한 높이값을 가지기 때문에 제거하지 못하였다. 이 오차 포인트들을 제거할 수 있는 알고리즘 개발이 필요하다.

셋째, 현재 우리나라는 도시지역을 중심으로 1:1,000 수치지도 제작을 하고 있는데, 실험 결과로는 1:1,000 수치지도 정확도 규정을 만족시키지 못하고 있다. 높은 밀도의 LiDAR 자료가 필요하고, 오차포인트들을 정확하게 제거할 수 있는 알고리즘에 대한 연구가 더 필요할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- 1) 김형태, 2001. "GIS 건물레이어 자동구축을 위한 LiDAR 자료와 항공사진의 융합", 서울대학교 공학박사 학위논문.
- 2) 오재홍, 2001. "Laser Scanning Data를 이용한 건물 외곽선 추출에 관한 연구", 서울대학교 공학석사 학위논문.
- 3) 이병길, 2001. "대축척 DSM 제작을 위한 항공레이저측량 데이터의 보정에 관한 연구", 서울대학교 공학박사 학위논문.

4) Gülch, E., 1998. "On the performance of semi-automatic building extraction", *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.32, part 3/1, pp. 331-338.

5) Morgan, M. and Tempeli, K., 2000. "Automatic Building Extraction from Airborne Laser Scanning Data", *Proceeding of the 19th ISPRS Congress*, Book 3B, pp. 616-623, Amsterdam

6) Roux, M. and MacKeown, D. M. 1994. "Feature matching for building extraction from multiple views", *proceedings of ARPA Image Understanding Workshop*, pp. 331-349

7) Seresht, M. and Azizi, A., 2000. "Automatic Building Recognition from Digital Aerial Images", *Proceeding of the 19th ISPRS Congress*, Book 3B, pp. 792-798, Amsterdam

8) Wang, Z., 2000. "Building Extraction and Reconstruction from LiDAR Data", *Proceeding of the 19th ISPRS Congress*, Book 3B, pp. 958-964, Amsterdam

9) Wehr, A. and Lohr, U., 1999. "Airborne Laser Scanning - an Introduction and Overview", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol 54, pp. 68-82.

10) Weidner, U. and Föstner, W., 1995. "Towards Automatic Building Extraction from High-resolution Digital Elevation Models", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 50(4), pp. 38-49.