

도화원도를 이용한 LiDAR DEM의 정확도 평가 The Evaluation on Accuracy of LiDAR DEM by Plotting Map

최윤수* · 한상득** · 위광재***

Choi, Yun-Soo · Han, Sang-Deuk · We, Gwang-Jae

要 旨

수치표고자료(Digital Elevation Model ; DEM)는 영상처리, GIS, 건설, 수자원, 조경, 통신, 군사 및 기타 관련 분야에서 광범위하게 사용되고 있으며, 특히 정밀 DEM을 기반으로 하는 대축척 정사영상 제작, 3차원 GIS 데이터 구축 등에 활발히 이용되고 있다. 최근에는 LiDAR(Light and Detection And Ranging) 시스템의 등장으로 기존의 항공사진측량과 비교하여 효율적이고, 경제적으로 도시지역의 DEM을 효과적으로 구축할 수 있게 되었다. 기존의 일반적인 검사점(Check Point)에 의한 비교방법은 건물에 대한 높이값이 아닌 지형에 대한 높이값만을 비교함으로써 LiDAR자료에서 건물 등 구조물 정확도를 평가하는 데에는 한계가 존재한다. 따라서 본 연구에서는 청주시의 도심지를 연구대상지역으로 선정하여 항공레이저측량(LiDAR측량) 자료를 이용한 DEM 및 수치정사영상을 제작하고 해석도화원도를 이용하여 정확도를 평가하였다. 실험 결과를 분석하면 LiDAR DEM은 건물의 경우에는 평균적으로 x축 방향으로 0.30 m, y축 방향으로 0.62 m 편이가 발생하였으며 도화원도를 이용하여 제작한 DEM과의 비교·분석한 결과, 편이가 ± 10 cm 범위에 36.2%, ± 10 cm~ ± 20 cm 범위에 43.53%가 분포되어 있다. 따라서 본 연구에서 제시된 LiDAR 자료의 정확도는 국립지리원에서 규정하고 있는 1/5,000 도화축척의 최대오차 이내로 다양한 분야에 활용될 수 있다.

ABSTRACT

DEM(Digital Elevation Model) is used widely in image processing, water resources, construction, GIS, landscape architecture, telecommunication, military operations and other related areas. And it is used especially in producing ortho-photo based on specific DEM and developing 3D GIS database vividly. As LiDAR(Light and Detection And Ranging) system emerged recently, DEM could be developed in urban area more efficiently and more economically, compared to the conventional DEM Production. Traditional method using check points for elevation has some limitations in structure's height accuracy by LiDAR, because it uses only terrain height. Accordingly after the downtown of Chungju city was selected as a test field in this paper and DEM and digital ortho images was produced by way of LiDAR survey, the accuracy was evaluated through analytical plotting map. The result shows that in case of buildings in LiDAR DEM, the accuracy is 0.30 m in X, 0.62 m in Y and RMS is 1.17 m. The difference distribution between DEM and plotting map in range of ± 10 cm was 36.2% and ± 10 cm~ ± 20 cm was 43.53%. The accuracy of LiDAR in this study meets 1/5,000 which is the regulation for map of NGI(National Geography Institute) and LiDAR can be possibly used in many other applied area.

1. 서 론

다양한 종류의 지형정보를 신속하고 정확하게 획득·처리하는 기술을 기반으로 사회 전문분야에서 고부가가치의 지식정보를 창출하는 획기적인 변화가 초래되고

있다. 다양한 지식정보 중 지형공간정보는 현대사회가 복잡·고도화됨에 따라 국토공간의 효율적인 활용 및 도시기반시설물 관리를 위하여 그 중요성이 날로 증대되고 있다.

현재 국내에서는 “제2단계 국가지리정보체계(NGIS) 구축사업”을 추진 중에 있으며, 국가 기본지리정보(National Framework Data)에 포함되어 있는 수치표고자료는 지형 분석에 있어서 반드시 필요하며 영상처리, 국토건설, 수

*서울시립대학교 지적정보학과 교수

**국립지리원 항공과장

***한진정보통신 GIS 기술지원팀

자원, 통신, 군사, 홍수예측 등 다양한 분야에서 활용이 되고 있다. 현재 수치표고자료는 항공사진이나 위성영상의 정보정단계에서 가장 활발히 사용되고 있으며, 대부분의 사용자가 1/1,000 및 1/5,000 수치지도에서 높이값(등고선 및 표고값)을 추출하여 사용목적에 맞게 제작하고 있는 실정이다. 이러한 이유로 인하여 수치표고자료의 제작방법 및 품질, 규격 등의 일관성이 결여되고 있다. 이에 건설교통부와 국립지리원에서는 2000년 “한국지형에 적합한 수치표고자료구축연구”, 2001년 “수치표고자료구축 시범연구사업”를 통하여 DEM 작업규정 및 품질을 제작하였으며, 국가 DEM의 시급성 및 경제성, 효율성을 고려하여 항공레이저측량 방법으로 구축하는 것을 고려하고 있다.^{1),2)} 또한 국립지리원에서는 2010년까지 도시지역(서울 및 6대광역시)은 5m 격자간격, 기타지역은 10m 격자간격으로 국가 DEM을 구축할 계획이다.¹⁾ 한국 수자원공사에서는 2003년까지 한강 유역중, 홍수 취약구간 약 600km에 대하여 시범적으로 홍수지도 제작 및 홍수범람시 홍수예측을 위해서 수치표고자료를 항공레이저측량방법으로 최소 5m 격자크기로 제작할 계획이다. 또한 해양수산부에서는 해안선 조사측량 및 해안지역 변화 모니터링 등에 고밀도 DEM을 제작하여 활용하는 방안을 검토 중에 있다.^{1),5)}

항공 레이저 측량은 최첨단 지상의 표고자료 및 매핑 시스템으로서 다양한 분야에서 그 활용도가 증가되고 있다. 항공 레이저 측량의 장점은 높은 효율성과 정확도에 있으며, 레이저 스캐너는 능동센서 시스템이므로 기후에 관계없이 주야로 자료획득이 가능하다. 또한 스캐너로부터 지표면까지 거리를 직접 산출할 수 있으므로 고밀도의 표고정보를 신속하고 효율적으로 얻을 수 있다. 특히 접근이 어려운 지역의 위치정보나 지도제작 분야에 효과적으로 이용할 수 있으며, 정밀한 수치표고자료를 획득할 수 있다.^{6),8)}

수치정사영상의 제작에 있어 반드시 필요한 고해상도 DSM(Digital Surface Model, 수치지형모델)*을 용이하게 제작할 수 있는 방법의 부재로 인하여 많은 어려움이 존재하였다. 그러나 최근의 항공 레이저 측량의 실용화로 인하여 지형, 수목, 건물의 높이정보를 획득할 수 있게 되어 도시지역에 대한 정밀한 DSM의 제작이 가능해졌

다. 따라서 도시지역에 대한 고해상도의 대축척 수치정사영상 제작이 가능해졌으며, 기존의 건물이나 고해상도 DEM을 제작하기 위하여 이용하던 도화원도 또는 3차원 도화작업을 대체할 수 있게 되었다.^{8),10)}

이를 위해 본 연구에서는 항공 레이저 측량의 자료인 3차원 위치데이터로 도심지의 고해상도 DEM을 제작하여 도화원도와 도화 DEM과의 정확도 차이를 규명하고자 한다. 이는 상대적인 비교방법이며, 기존에 도화원도로 DEM을 제작하는 방법은 검증된 방법이므로 비교기준으로 이용하였다. 또한 기존의 일반적인 비교방법인 검사점에 의한 비교는 건물이 아닌 지형에 대한 값만을 비교함으로써 인하여 LiDAR 자료에서 건물 등 구조물 정확도를 평가하는 데에는 한계가 있다.^{1),6),8),11)}

따라서 LiDAR 자료를 이용하여 제작한 DEM의 상대적인 정확도를 평가함에 있어서 시각적인 평가와 더불어 정량적인 평가를 위주로 하였다. 정량적인 평가방법으로는 건물의 경우에는 도화원도를 기준으로 LiDAR 자료를 이용하여 생성한 DEM 내 모서리점의 X방향, Y방향의 편차를 비교·분석하였으며, 높이차이에 대한 평가는 도화원도 DEM과 LiDAR DEM의 차이를 분석하였다. 또한 정성적 즉, 시각적인 평가방법으로서는 LiDAR DEM을 이용하여 실험대상지역에 대하여 1/5,000 항공사진을 이용하여 수치정사사진을 제작하여 시각적인 평가와 더불어 도화원도와 중첩하여 비교·분석하였다. 또한 본 연구에서의 LiDAR 자료에 대한 정확도 평가를 통하여 향후, 정밀 건물 DEM 제작에의 이용가능성을 제시하였다.

2. 사용자료의 특성

본 연구에서 사용된 자료로는 1/1,000 도화원도, 1/5,000 항공사진, LiDAR 자료를 이용하였으며, 연구대상 지역의 지형적 특성은 건물(고층, 저층)이 밀집되어 있는 도심지와 산지가 있는 청주시 운천동 및 신정동 주변지역을 선정하였다.

2.1 도화원도

본 연구에서 사용된 1/1,000 도화원도는 1996년도에

*본 논문에서는 DEM(수치표고자료 ; Digital Elevation Model)은 건물이나 수목이 제거된 지형 자료만으로 제작된 것을 말하며, DSM(수치지형모델 ; Digital Surface Model)은 지형과 건물, 수목 등 지형·지물이 포함된 것을 말한다.



그림 1. 연구 대상지역의 도화원도

국립지리원에서 1/5,000 항공사진으로 제작한 것이며, 도엽번호는 “청주 1404, 05, 14, 15(367061404~15)”이다. 사용된 도화원도의 이력은 1/5,000 축척의 항공사진을 이용하여 해석도화기에서 제작된 것이며, 사용된 자료는 그림 1과 같다.

2.2 항공사진

본 연구에서 사용된 항공사진은 국립지리원에서 1/1,000 수치지도의 갱신을 목적으로 2000년도에 촬영한 1/5,000 축척의 항공사진을 이용하였다. 사용된 항공사진 촬영 카메라는 ZEISS사의 RMK계열이며, 사진의 특성은 표 1과 같으며, 연구대상지역의 항공사진은 그림 2와 같다.

2.3 항공 레이저 측량 및 취득자료

LiDAR 측량의 원리는 항공기에 레이저 펄스 송수신

표 1. 본 연구에 사용된 항공사진의 특성	
항 목	내 용
촬영축척	1/5,000
카메라 초점거리	152.772 mm
촬영고도	880 m
촬영일	2000년 5월 4일
중중복	60%
횡중복	30%

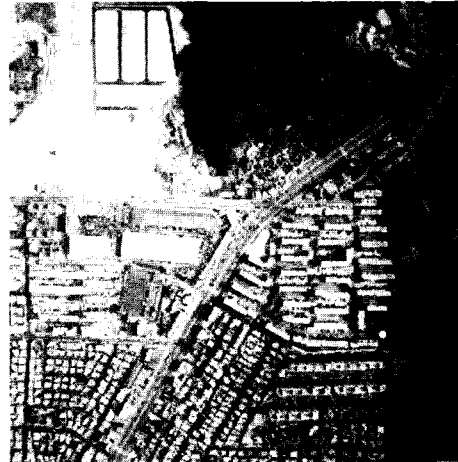


그림 2. 연구 대상지역의 항공사진

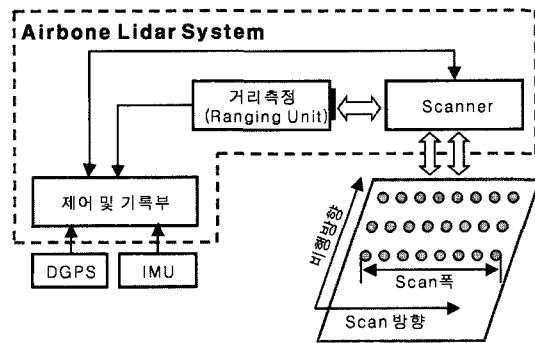


그림 3. 항공 LiDAR 시스템의 원리

기(거리측정부와 Scanning부분으로 분할), GPS수신기 및 관성항법장치(IMU)를 동시에 탑재하여 비행방향을 따라 일정한 간격으로 지형의 기록을 측량한다(그림 3 참조). 이때 지상에 설치된 기준점(Base Station)으로부터 D-GPS(Differential Global Positioning System)기법에 의해 항공기에 부착된 GPS의 정확한 위치를 결정한다. 또한 촬영전에 부착된 GPS와 레이저 스캐너의 정확한 이격거리를 측정하고, 부착된 GPS로부터 레이저 스캐너의 위치를 결정하고, 관성항법장치에서 레이저 펄스의 회전각을 측정한 후, 지상에서 반사된 레이저 파의 정확한 수직거리를 결정하는 방법을 말한다.

본 연구에서 사용된 Optch사의 ALTM 1210 스캐너 센서는 Folding 거울이 20도를 회전하면서 Scan각은 30도의 폭으로 레이저파를 발송하여 지상의 위치를 취득한다(식 (2-1) 참조).

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{pmatrix} + (R_{IMU} \cdot R_{IMU}^{LS}) \cdot \begin{pmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{pmatrix} \quad (2-1)$$

X, Y, Z = 지상 표고점의 좌표
 X_L, Y_L, Z_L = 레이저 스캐너의 위치
 X_G, Y_G, Z_G = GPS 위치
 R_{IMU} = 기준좌표계와 IMU간의 회전행렬
 R_{IMU}^{LS} = 레이저스캐너와 IMU간의 회전행렬
 l_x, l_y, l_z = 레이저 광선의 벡터

대부분의 항공기 LiDAR 시스템 장비에서 레이저 광선은 일정한 순서로 비행방향을 가로질러 이동하여 측량 대상지역을 포괄하게 되며, 이러한 동작은 비행기의 진행방향에 의해 반복적으로 측량된다.

본 연구에서 사용된 LiDAR 장비는 캐나다 Optech사에서 제작한 "ALTM 1020(표 2 참조)"이며, 고정익 항공기 PA-31-350에 탑재하여 레이저측량을 실시하였다.

표 2. 사용장비의 개략적인 제원

구분	제원
측량 가능고도	330~1,000 m
표고정확도	±15 cm(1σ)보다 양호
평면위치정확도	H/1,000(H: 비행고도)
스캔각	0°~±20°
스캔폭	0~0.68H(H: 비행고도)
레이저 반복율	100~5,000 Hz

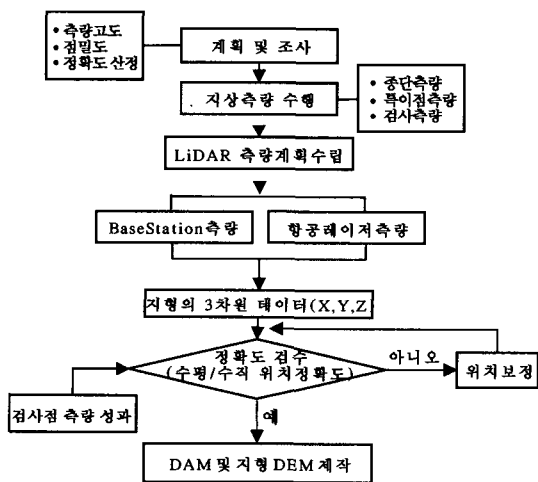


그림 4. LiDAR 자료 취득과정

LiDAR 자료를 획득하는 과정은 그림 4와 같은 작업흐름으로 진행하였다.

항공 레이저 측량이 진행되는 동안에는 지상에 기준점(Basestation)을 2점 설치하여 항공기 GPS에서 취득된 자료와 D-GPS기법으로 처리시, 고정점으로 사용하였다. 또한 국가삼각점 4점에 대하여 좌표변환측량을 실시하여 WGS-84 기반의 자료를 우리나라 직각좌표계로 변환하였다. 취득된 LiDAR 자료는 상대적인 정확도는 우수하지만 시스템의 정오차에 의한 절대적인 수직위치 정확도는 일반적으로 ±15 cm이며, 수평위치 정확도는 ±30~80 cm 정도이다. 또한 취득자료의 정확도에 미치는 영향 인자는 크게 비행고도, 자료취득밀도로 구분할 수 있으며, 각각의 영향에 의하여 정확도에 미치는 변수는 그림 5와 같다.

본 연구에서는 취득자료의 수평 및 수직위치 보정을 위해서 특이점과 종단(Profile)측량을 연구대상지역에서 수행하였다. 종단측량은 약 200 m 정도의 평탄한 지역을 선정하여, 5 m~10 m 간격으로 RTK-GPS측량을 실시하였으며, 특이점측량은 3개지역으로 구분하여 고층건물 모서리점의 성과를 취득하였으며, 취득된 LiDAR 자료의 수평 및 수직위치를 보정하였다. 취득된 LiDAR 자료의

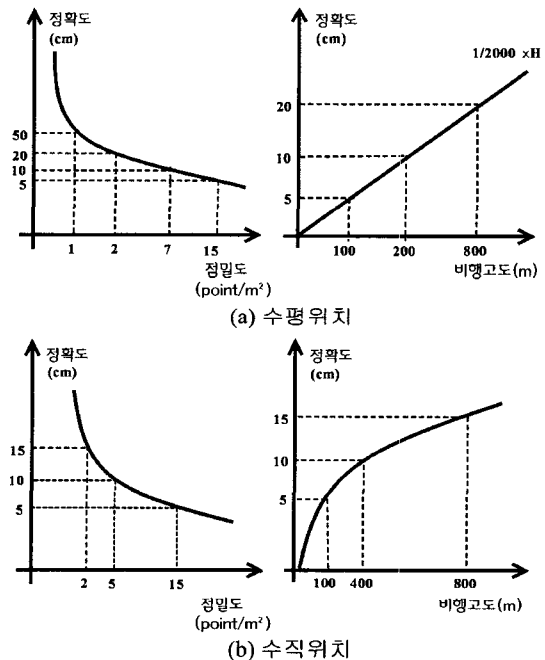


그림 5. 비행고도와 자료취득밀도에 따른 LiDAR자료의 정확도

표 3. 취득된 LiDAR 자료의 특징

구분	제원
비행고도	1,000 m
비행속도	180 km/h
주사율	5,000 Hz
횡중복도	87%
주사폭	450 m
경로수	100회

특징은 그림 3과 같으며, 전체 지역중에 도화원도와 항공사진을 보유한 약 800 m×1,000 m 지역을 대상으로 연구를 수행하였다.

3. DEM 및 정사영상 제작

본 연구의 목적은 LiDAR 자료를 이용한 도심지의 정밀한 DEM을 제작하여 지형과 건물로 구분한 뒤, 정확도를 도화원도를 기준으로 비교하는 것이다. 따라서 비교기준이 되는 도화원도에서 지형과 건물 DEM*를 각각 제작하였다. DEM 제작시, 격자크기는 취득된 LiDAR 원데이터가 약 2.6점/m²이므로 원시자료의 해상도와 비슷한 30 cm간격으로 제작하였다.

3.1 도화원도를 이용한 DEM 제작

도화원도를 이용한 DEM 제작은 건물과 수목을 제외한 지형 DEM과 건물DEM을 각각 제작하였다. 건물 DEM의 제작은 도화원도에 건물레이어에 속성값으로 있는 높이값을 이용하였다. 아울러 도화원도에서 건물레이어를 추출하기 위한 과정은 먼저 수치지도를 DXF 11/12 버전으로 변환한 뒤, 시설물 자료층에 대한 레이어 분류를 하고 폴리곤 속성을 가지고 있는 각 건물자료의 절점을 추출하였으며, 추출된 자료를 이용하여 수치지도의 자료층 번호, 건물을 구성하고 있는 폴리곤의 절점 개수, 수평 위치에 해당하는 X, Y 좌표에 대한 자료구조를 생성하였다. 그림 6은 도화원도에서 DEM을 제작하는 흐름도를 나타내고 있다.

또한 그림 7은 도화원도를 이용하여 지형레이어와 건

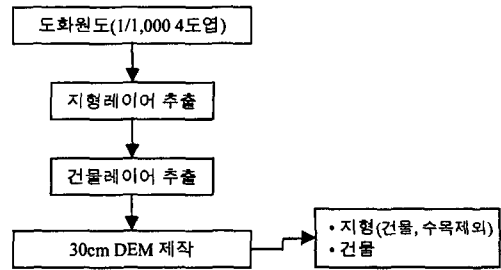


그림 6. 도화원도를 이용한 DEM 제작 흐름도



그림 7. 지형 및 건물을 이용한 DEM 제작

물레이어를 추출한 것이며, 각각의 높이값을 이용하여 DEM을 제작한 것이다. 지형 및 건물 DEM은 LiDAR 자료에서 제작된 지형 및 건물 DEM의 정확도를 평가하는데 기준으로 이용하고자 한다.

3.2 LiDAR 자료를 이용한 DEM 제작

오차가 조정된 LiDAR 자료는 그림 8과 같은 순서로 처리를 하였으며, 분류한 결과는 그림 9와 같다. 또한 초

*본 연구에서의 "건물 DEM"은 건물 옥상(지붕)의 내 모서리의 대표값으로 건물면적만큼 일괄적으로 적용한 것을 말하며, 지형 DEM과 합성(Merging)한 것을 말한다. 또한 본 연구에서 이용된 도화원도에는 건물 옥상에 설치된 구조물의 높이값은 존재하지 않으므로 제외하였다.

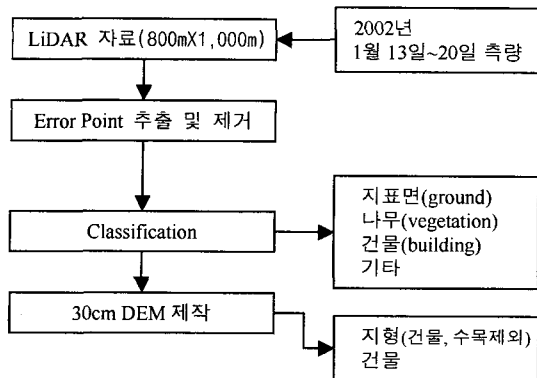


그림 8. LiDAR 자료를 이용한 DEM 제작 흐름도

기데이터에서 오차점(Error Point)만을 제거한 LiDAR 초기(Raw) 데이터의 이용성을 평가하는 것이기 때문에 오차점을 제거하고 건물을 추출한 후, 건물외곽선에 대하여 별도의 평활화(Smoothing) 기법을 사용하지 않았다.

본 연구에서 중요한 것은 LiDAR 자료를 이용하여 도심지의 건물과 지형에 대한 정밀 DEM을 생성하여 정확도를 평가하여 향후, 이용가능성을 제시하는 것이다. 따라서 초기 LiDAR 자료를 이용하여 건물과 지형 DEM을 각각 제작하여 비교기준이 되는 도화면도와 비교·분석할 수 있도록 초기데이터에서 오차점을 제거하고 지형, 수목, 건물 등으로 분류하였다.

분류된 데이터를 도화면도를 이용하여 DEM 제작방식과 동일하게 30cm 격자크기로 TIN알고리즘으로 지형과 건물 DEM을 제작하였다(그림 10 참조).

3.3 정사영상 제작

본 연구는 LiDAR 자료를 이용한 DEM의 이용가능성을 규명하는 것이기 때문에 앞서 제작한 DEM을 기반으로 수치정사영상을 제작하였다.

항공사진은 사진기 렌즈의 중심으로 투영되어 얻어지

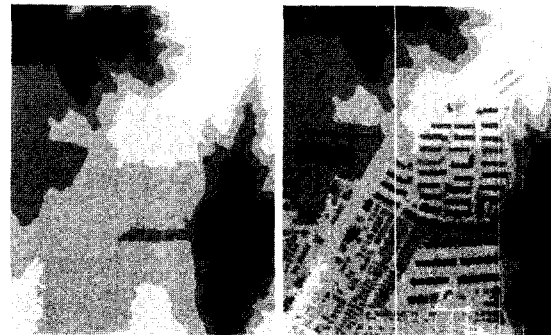


그림 10. LiDAR 자료를 이용한 DEM 제작(좌:지형, 우:건물)

는 중심투영 영상이기 때문에 지형의 기복에 따른 변위가 포함되어 있으며, 또한 촬영당시 비행기의 자세에 의한 피사체의 왜곡이 존재한다. 이러한 기복변위를 제거하여 지도와 같은 정사투영의 기하학적 특징을 가지는 사진을 제작하는 과정을 정밀편위수정이라 하며, 이러한 과정을 걸쳐 정사투영사진을 만든다. 본 연구에서 1/5,000 항공사진 좌·우 사진을 이용하여 모델을 형성하였으며, 현지에서 측량한 지상기준점을 이용하여 사진기준점측량(AT) 작업을 수행하였다. 연구대상지역과 같은 고층 아파트 건물이 밀집해 있는 지역에 대한 정사사진을 제작하는 경우에는 단순한 지표면의 높이값을 표현하는 DEM을 이용할 경우에는 건물의 높이로 인해서 발생하는 기복변위량을 정확하게 보정할 수가 없다. 따라서 건물의 높이값을 정확하게 표현하는 DEM이 필요하다. 그러나 정밀한 DEM을 이용해서 정사사진을 제작할 때, 영상에 존재하는 건물의 위치가 정확하게 옮겨지지만, 기복변위량에 의해서 왜곡된 건물의 영상이 나타나는 이중잔상이 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 폐색영역에 대하여 처리를 하였으나 1모델에 대하여 정사영상만을 제작하였으므로 주위영상을 이용하여 폐색영역을 복원하지는 않았다.

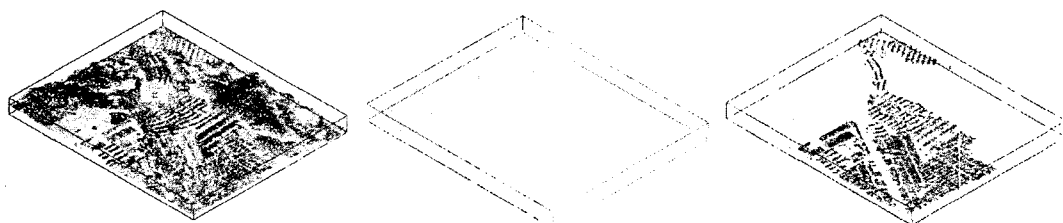


그림 9. 취득된 LiDAR 자료, 지형 및 건물이 분류된 자료

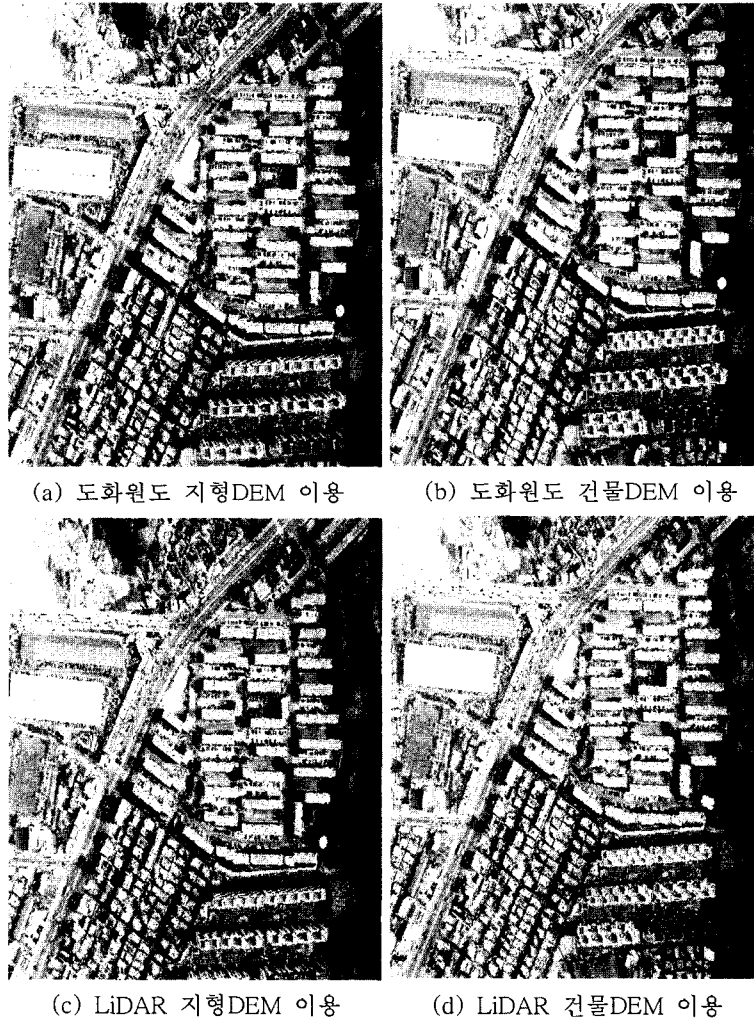


그림 11. 제작된 수치정사영상

또한 사용된 DEM에 따라 제작된 정사영상의 차이를 분석하기 위하여 그림 11과 같이 수치정사영상을 제작하였다. 그림 11(c), (d)에서 보듯이 건물 DEM을 이용하여 제작한 정사영상은 위에서 서술한 건물의 이중잔상이 나타나는 것을 알 수 있다.

4. 정확도 평가

본 연구에서 제작된 LiDAR 자료를 이용한 DEM의

정확도 평가방법은 일반적인 기준이라 할 수 있는 정량적인 평가 즉, 위치정확도를 평가하고 정성적인 평가인 시각적인 평가를 실시하였다. 위치정확도에 있어서 LiDAR 건물 DEM에 대한 평가는 도화원도를 기준으로 하여 대표적인 건물*에 대하여 평가하도록 하며, 지형 DEM의 경우는 각각의 DEM의 차이를 분석하도록 한다. 또한 시각적인 평가는 LiDAR DEM을 이용하여 제작한 정사영상에 도화원도를 중첩하여 평가하도록 한다.

수평위치정확도의 평가는 연구대상지역에 존재하는

*본 연구에서는 대표적인 건물이라 함은 연구대상지역에 존재하고 있는 건물진체에 대하여 위치정확도의 평가는 무의미하므로 건물면적과 높이에 따라서 3가지 종류로 분류하여 위치정확도를 평가하였다.

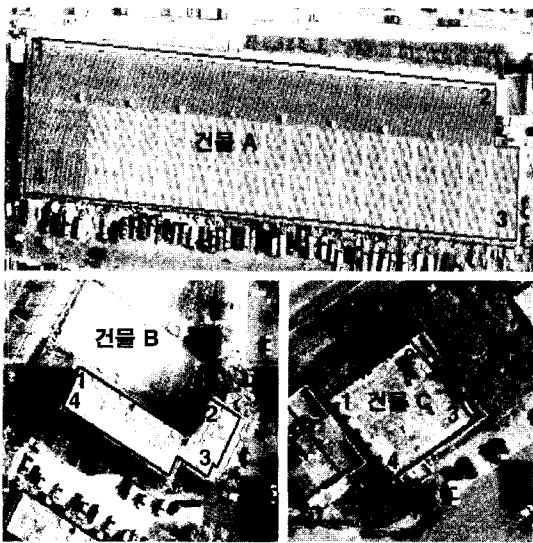


그림 12. LiDAR 건물 DEM의 위치정확도 평가(비교건물)

건물 중, 면적과 높이에 따라서 3가지 종류의 건물을 선택하여 각 건물의 모서리점을 비교하였다. 건물 A는

면적이 넓은 창고형 건물이며, 건물 B는 아파트, 건물 C는 저층빌딩을 선택하여 대표적으로 비교하였다(그림 12 참조).

LiDAR 자료를 이용하여 도심지의 건물 DEM에 대한 평균오차는 x축 방향으로 0.30 m, y축 방향으로 0.62 m 차이가 발생하였다. 평균 거리오차는 1.17 m 정도로 국립지리원에 제시된 1/5,000으로 도화작업시, 허용정확도의 최대오차가 2 m임을 감안한다면 단축한 결과이다. 다만 본 연구에 사용된 LiDAR 원시데이터의 자료취득 밀도가 조밀하지 않은 자료를 이용하였으므로 향후 건물의 외곽선 추출 등 3차원 데이터를 생산하려면 측량 계획시, 비행고도나 자료취득밀도 등에 대하여 고려하여야 하며, 향후 체계적으로 연구하여 표준화해야 할 필요가 있다(표 4 참조).

또한 건물을 제외한 도화원도와 LiDAR 자료의 지형 DEM을 비교하기 위하여 도화원도를 기준으로 상대적인 차이를 표 5와 같이 제시하였다.

LiDAR 자료를 이용한 DEM을 정성적으로 평가하기

표 4. LiDAR 자료의 수평위치정확도 평가 결과

건물	도화원도		LiDAR 자료		방향별 오차		거리오차	
	x(m)	y(m)	x(m)	y(m)	dx(m)	dy(m)		
건물 A	1	241433.01	349877.92	241433.32	349876.26	-0.31	1.66	1.69
	2	241581.10	349868.75	241580.90	349867.06	0.20	1.69	1.70
	3	241587.51	349837.52	241586.90	349836.81	0.61	0.71	0.94
	4	241430.91	349846.99	241430.25	349847.05	0.66	-0.06	0.66
건물 B	1	241649.60	349792.40	241649.55	349791.88	0.05	0.52	0.52
	2	241682.50	349786.30	241682.42	349785.04	0.08	1.26	1.26
	3	241683.00	349768.00	241682.87	349769.98	0.13	-1.98	1.98
	4	241645.00	349783.80	241644.65	349783.63	0.35	0.17	0.39
건물 C	1	241782.70	349924.70	241782.06	349924.13	0.64	0.57	0.86
	2	241799.00	349937.00	241799.54	349935.66	-0.54	1.34	1.44
	3	241811.60	349920.40	241810.37	349920.05	1.23	0.35	1.28
	4	241795.40	349908.10	241794.80	349906.83	0.60	1.27	1.40
				평균	0.30	0.62	1.17	
				최대	1.23	1.69	1.98	
				최소	0.05	-0.06	0.38	

표 5. 제작된 DEM 표고오차 분포(도화원도 지형DEM-LiDAR 지형DEM)

구분	표고오차분포			
	±0.10 m이하	±0.10~±0.20 m	±0.20 m±0.30 m	±0.30 m이상
백분율(%)	36.2%	43.53%	20.2%	0.07%



그림 13. LiDAR DEM을 이용한 수치정사영상과 도화원도의 중첩(시각적 평가)

위해서 최종 제작된 정사영상에 도화원도를 중첩하여 시각적으로 평가를 수행하였다. 시각적인 평가에 있어서 도로나 건물 등 지형·지물의 구분이 확연한 곳을 선택하였다. 검사결과, 영상의 왜곡이나 오차가 발생한 곳은 없었지만 건물의 직선부분이 약간 구부러지는 현상과 건물 주변에 노이즈가 발생하였다. 이는 LiDAR 건물 DEM이 도화원도에서 제작한 것처럼 완전한 직선이 아니기 때문이다. 그렇지만 건물 주변의 노이즈가 건물과 주변지역의 경계를 혼동할 정도로 심한 것이 아니고, 영상의 활용에는 크게 문제가 되지 않을 것으로 보인다(그림 13 참조).

5. 결 론

본 연구에서는 LiDAR 자료를 이용하여 제작한 DEM의 정확도를 평가하는데 목적이 있다. 비교기준이 되는

자료는 1/1,000 도화원도와 그 DEM을 사용하였으며, 평가방법으로 정량적인 평가와 시각적인 평가를 하였다. 기존의 도시지역 건물 DEM을 획득하는 방법인 도화원도를 이용하는 방법과 비교하여 LiDAR 자료의 정확도를 검증하였으며, 이용 가능성을 제시하였다. 본 연구는 청주시 운청동과 산정동 주변지역을 연구대상 지역으로 한 실험을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 연구대상지역에서 취득된 LiDAR 자료를 이용하여 30 cm 격자크기로 DEM을 지형과 건물로 구분하여 제작하고 도화원도에서 추출한 지형과 건물 자료를 이용하여 기준 DEM을 제작하였다. 연구대상지역의 대표적인 3개의 건물을 선택하여 지붕의 네 모서리점을 비교한 결과, LiDAR의 건물 DEM은 x축 방향으로 0.3 m, y축 방향으로 0.62 m 차이가 발생하였다.

2. 건물이 없는 지형에서의 해석도화 DEM과 LiDAR DEM의 차이는 20 cm 이내가 약 80%정도이며, 30 cm 정도의 과대오차가 약 0.07% 발생하였으나, 이것은 도화원도가 1996년의 자료이기 때문에 지형의 변화 때문에 기인한 것으로 판단된다.

3. 본 연구에서 제작된 LiDAR DEM을 이용하여 도시지역의 대축척 정사영상을 제작하였으며, 위치정확도는 물론 시각적인 정확도도 대체로 양호한 것으로 사료된다. 향후, 국가 DEM 제작은 물론이고 다양한 분야에 활용할 수 있다.

4. LiDAR 자료를 이용하여 정사보정용 DEM을 제작할 시에는 초기 자료에서 수목과 건물, 지형으로 구분하여 분류하도록 하며, DEM은 지형과 건물을 합성하여 사용하는 것이 적절하리라 본다. 또한 사용자가 요구하는 정확도에 따라서 LiDAR 초기 데이터의 품질을 좌우하는 비행고도와 자료취득 밀도에 대한 연구를 진행하여 표준화할 필요가 있다.

감사의 글

본 논문은 2001년도 서울시립대학교 신진교수연구비 지원에 의하여 수행된 연구로서 학교당국에 감사드리며 또한, 귀중한 자료를 제공하여 주신 國立地理院, 한진정보통신 관계자 여러분께도 感謝드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부, “한국지형에 적합한 수치표고자료 구축방안

- 연구”, 2001.
2. 국립지리원, “2001년 수치표고자료구축 시범연구사업 보고서”, 2002.
 3. 김형태, “GIS 건물레이어 자동구축을 위한 LiDAR 데이터와 항공사진의 융합”, 서울대학교 대학원, 박사학위논문, 2000.
 4. 심용운, “LiDAR 데이터를 이용한 도시지역의 수치정상 투영영상 제작”, 서울대학교대학원, 석사학위논문, 2001.
 5. 이창경 외 1인, “우리 나라 수치표고모델 구축방안”, 한국측량학회, 창립20주년기념 국제학술대회 논문집, 2002, pp. 129-139.
 6. 위광재 외 3인, “LiDAR자료를 이용한 연안 해안지역 관리 및 활용에 관한 연구”, 한국지형공간정보학회, 2002 공동 춘계 학술대회 논문집, 2002, pp. 66-73.
 7. Aloysius Wehr, Uwe Lohr, “Airborne laser scanning-an introduction and overview”, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 54, 1999, pp. 68-82.
 8. David F. Maune, “Digital Elevation Model Technologies and Applications; The DEM User Manual”, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2001.
 9. Emmanuel P. Baltsavias, “A Comparison between photogrammetry and laser scanning”, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 54, 1999, pp. 83-94.
 10. Hans-Gerd Mass, “Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data”, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 54, 1999, pp. 153-163.
 11. TerraSolid Co., Ltd., User Guide(TerraScan and TerraModeler for MicroStation, 2001, Finland.

(2002년 4월 30일 원고접수)