

산림지역에서 LiDAR 측량의 정확도 평가 Accuracy Evaluation of LiDAR Measurement in Forest Area

이상훈¹⁾ · 이병길²⁾ · 김진광³⁾ · 김창재⁴⁾

Lee, Sang Hoon · Lee, Byoung Kil · Kim Jin Kwang · Kim Chang Jae

Abstract

Digital Elevation Models (DEM) is widely used in establishing the topographic profile in nation spatial information. Aerial Light Detection And Ranging (LiDAR) system is one of the well-known means to produce DEM. The system has fast data acquisition procedures and less weather-dependent restrictions compared to photogrammetric approaches. In this regards, LiDAR has been widely utilized and accepted in the process of nation spatial information generation due to its sufficient positional accuracy. However, the investigation of the accuracy of aerial LiDAR data over the area of forestation with various kinds of vegetations has been barely implemented in Korea. Hence, this research focuses on the investigation of the accuracy of aerial LiDAR data over the area of forestation and the evaluation of the acquired accuracy according to the characteristics of the vegetations. The study areas include land with shrubs and its adjacent forest area with mixed tree species. The spots for the investigation have been selected to be well-distributed over the whole study areas and their coordinates are surveyed by Global Positioning Systems (GPS). Then, the surveyed information and aerial LiDAR data have been compared with each other and the result accuracy has been evaluated. Conclusively, it is recommended that LiDAR data collection to be conducted after defoliation period, especially over the areas with broadleaf trees due to the possibility of significant outliers.

Keywords : Digital Elevation Models, LiDAR, Checkpoint Survey, Aerial Surveying

초 록

국가 공간정보 중 지형의 형태를 나타내기 위해 수치표고모형(DEM)을 사용한다. 수치표고모형을 생성하기 위한 다양한 방법 중 항공 LiDAR를 활용한 방법은 지형의 변화에 신속하게 자료를 획득할 수 있고, 사진 측량기법에 비해 기상조건에 따른 제약을 덜 받는다. 이러한 항공 LiDAR는 최근 국가공간정보의 제작에 다양하게 활용되기 시작하였으나, 다양한 식생이 우거진 한반도의 산림지역에서 일반적으로 평가되고 있는 항공 LiDAR 측량의 정확도가 얻어지는 지에 대한 연구는 아직 이루어지고 있지 않다.

본 논문에서는 다양한 식생이 존재하는 산림지역을 연구대상지역으로 선택하여 수목의 특성에 따라 항공 LiDAR 자료의 정확도가 어떻게 다른지 평가하고자 하였다. 연구대상지역은 낮은 식생이 존재하는 나대지를 포함하고 있는 지역과 이 나대지의 경계부분과 인접하고 있는 다양한 수목이 존재하는 산림지역을 선정하였다. 선정된 지역에 대하여 대상지역에 고르게 분포하도록 검사점을 선점하고 GPS 측량을 실시하였다. 이렇게 측량된 검사점과 항공 LiDAR 자료와의 비교를 통하여 정확도를 평가하였다. 정확도 평가 결과, 활엽수 지역에서는 상당히 큰 오차가 발생할 수 있기 때문에 항공 LiDAR 측량에서도 촬영시기를 낙엽이 떨어진 이후로 하여야 함을 알 수 있었다.

핵심어 : 수치표고모형(DEM), LiDAR, 검사점측량, 항공측량

1) 경기대학교 산업대학원 지리정보공학 석사(Email:ish6338@korea.com)

2) 교신저자 · 경기대학교 토목공학과 조교수(Email:basil@kgu.ac.kr)

3) 중앙항공주식회사 지리정보연구소(Email:jeff2kim@chollian.net)

4) Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada(Email:cjkim@ucalgary.ca)

1. 서 론

컴퓨터 기술 발달로 인하여 지형공간정보를 기반으로 하는 분야에서 기존의 자료들을 수치화하고 있다. 이와 함께 자료를 제작하는 과정 또한 자동·반자동의 기법으로 전산시스템화하고 있는 추세이다. 특히 지도제작 관련 분야에서는 기존에 수작업으로 대부분의 정보를 추출하고 자료를 제작하던 경향에서 벗어나 대부분의 장비를 수치화시스템으로 대체하고 있다. 기존의 자료 뿐 아니라 새로이 생성되는 자료들을 수치화함에 따라 제작되는 자료의 활용도와 정밀도가 높아졌으며 이에 따라 응용분야도 폭넓게 발전하고 있다(Schenk and Toth, 1992).

수치표고모형은 지상의 위치에 대한 높이 값을 격자화하여 지형공간상에 나타난 연속적인 기복변화를 수치적으로 표현하는 자료로써, 항공사진이나 위성사진을 이용하여 대상지역을 입체로 중복 촬영하여 영상과 대상물 공간의 기하학적 모형을 계산한 후, 입체영상에서 한 영상의 한 위치에 해당하는 실제의 객체가 다른 영상의 어느 위치에 형성되었는가를 찾는 공역점(conjugate point) 정합(matching)을 통하여 해당 점들의 지상위치를 3차원적으로 결정함으로써 수치표고모형을 생성한다(Schenk, 1996).

최근에는 수치표고모형의 생성 기술로 각광받는 것이 항공레이저측량으로 LiDAR (Light Detection and Ranging)를 활용하고 있다. LiDAR는 다른 원격탐사 기술에 비하여 비교적 높은 수직정확도를 가지며, 기후의 영향을 적게 받는 능동 센서를 항공기에 탑재하여 이를 이용한 수치표면자료(DSD; Digital Surface Data) 및 수치지면자료(DTD; Digital Terrain Data)의 제작(국토지리정보원, 2009), 3차원 가상현실 구현 등에 관한 연구가 매우 활발하게 이루어지고 있다. 전통적인 수치지도 제작에서의 등고선 및 지형자료의 제작을 위한 입체 육안 판독에 의존할 경우 수 년생의 수목으로 이루어진 산림지역의 지표면에 대한 표고자료의 생성에 한계가 있기 때문에 LiDAR가 중요한 원격탐사 기술의 하나로 부각되고 있다.

국토지리정보원에서는 U-Korea의 비전 아래 범국가적인 지능형 국토의 실현을 위하여 항공 LiDAR를 이용한 다차원 공간정보구축사업을 추진하였다. 2005년 시범사업을 시작으로 사업의 확산과 지자체 활용분야를 도출하기 위하여 사업을 실시하였고, 2006년에는 기술용역

과 활용성의 확대, 표준화, 등고선 갱신 방안연구 등으로 구성하여 사업을 추진한 바 있다(국토지리정보원, 2006).

항공 LiDAR 데이터의 정확도에 관한 국내 연구로서 항공레이저측량의 관측기하로부터 위치오차를 모델링하여 비행고도에 따른 레이저측량의 수평정확도와 수직정확도를 산출하였다(이병길, 2001). 그리고 LiDAR로부터 취득된 DTM에 대하여 주거지역에서의 정확도에 대한 연구가 수행되었다(유환희 등, 2005). 필터링을 이용하여 지면과 비지면점을 추출하기 위한 방법을 제시하였고, 고층아파트지역과 저층주거지역에서의 정확도를 평가함으로써 도시지역의 지형자료인 정밀 DTM 생성에 있어서 LiDAR 자료의 활용 가능성을 검증하였다.

외국에서는 산림지역에서의 LiDAR 데이터 정확도에 대한 많은 연구가 수행되었다. Hyyppä 등(2000)은 한대성 산림지역에서 평지에서는 15cm 경사가 증가하면서 오차도 증가하여 경사도 40%에서는 오차도 40cm까지 증가하고, 적절한 DTM의 제작을 위해서는 주변 레이저 포인트를 평균하여 사용해야 함을 지적했다. Hofton 등(2002)은 코스타리카의 밀림지역에서 경사도 3° 이하 지역에서 1.5m, 그 이상인 지역에서 5m까지 오차가 발생하고 있으나, 다른 어떠한 방법으로도 데이터 구축이 불가능한 밀림지역에 대해서도 LiDAR의 활용 가능성이 있다고 하였다. Reutebuch 등(2003)은 벌목지역, 간벌지역, 밀집지역으로 나누어 침엽수림에 대한 LiDAR 데이터의 정확도를 분석한 결과 침엽수 밀집도가 LiDAR의 정확도에 큰 영향을 미치지 않는다고 하였다. Hopkinson 등(2005)은 습지대에서의 식생 종류에 따른 LiDAR 펄스의 투과력을 연구하여, 대부분의 오차는 키가 큰 식생에서 가장 큰 영향을 받았고, 수중 식생이 있는 곳보다는 낮은 관목이 있는 곳에서 오차가 더 크다는 결론을 도출하였다.

다른 연구로, Streutker 등(2006)은 초원지대에서의 LiDAR 정확도를 평가하여, 초원지대에서 썩과 같은 낮은 식생이 존재하는 지역과 불에 타 없는 지역을 비교 평가 하였으며, LiDAR 측량을 통해서 초원지대 관리에 적용할 수 있음을 증명하였다. Yao 등(2008)은 도심지와 산림지역으로 구분된 연구지역에서 침엽수와 활엽수의 수종을 자동 분류 한 결과 70%의 정확도를 보여 LiDAR 자료를 이용하여 수목의 분류가 가능함을 검증하였다. Hollaus 등(2008)은 호주 고산지대 128km²에 대한 운영단계의 적용 결과의 평가에서 활엽수나 혼효림 지역에 대

해서는 잎이 있을 때와 없을 때의 두시기 데이터를 이용하여야 한다고 하였다.

이와 같이 LiDAR 데이터의 정확도 대한 기존 연구사례에서 주로 침엽수림에서 경사도에 따른 오차가 평가 되어 만족스러운 정확도를 나타내었으나, 코스타리카 지역과 같이 활엽수가 주를 이루는 지역에서는 상당히 큰 오차가 발생함을 알 수 있었다.

본 연구에서는 한반도의 다양한 식생이 분포하는 산림지역에서의 항공레이저 측량 자료의 정확도를 평가하기 위하여, 항공레이저로 촬영한 산림지역의 LiDAR 자료에 대하여 수목이 있는 지역과 인접한 나대지를 포함한 지역을 선정하여 LiDAR 측량 성과와 GPS 측량성과를 비교·분석하였다. 연구 대상지역으로 선정된 지역은 나대지와 수목이 있는 지역으로 나대지와 수목지역이 인접하고 있는 낮은 산지이다. 측량은 정밀 GPS 측량을 기준위치에 실시하여 기준국으로 사용하고, 이 기준국 기지점을 사용하여 연구대상지역의 기준점을 GPS로 정밀측량하였다.

연구대상 지역은 항공사진과 LiDAR 자료를 이용하여 지표면이 드러나 있는 지역과 산림지역이 인접하고 있는 지역을 육안으로 선정하였다. 산림지역에서는 GPS 신호의 수신 여부에 따라 검사점을 선정하였다.

본 연구의 흐름은 그림 1과 같다.

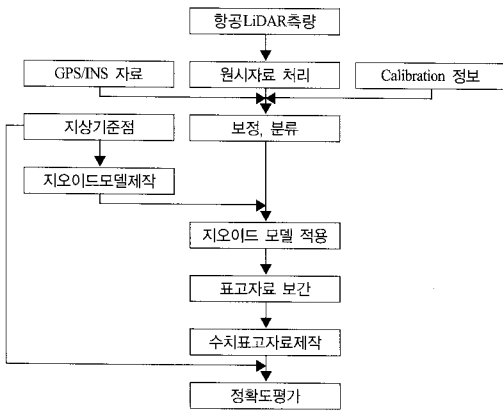


그림 1. 연구 흐름도

2. 대상지역 선정 및 기준점 측량

본 연구는 산림지역의 특성에 따른 LiDAR의 정확도를 연구하고자 하는 것으로 연구 대상지역을 선정하기 위해서는 산림지역의 특성을 나타내는 곳으로 선정해야

한다. 본 연구의 공간적 위치로는 경기도 광주시의 일부 지역으로 항공기를 이용한 LiDAR 측량에 무리가 없는 곳이다. 우리나라의 일반적인 나대지와 산림의 특성을 잘 나타내는 곳으로 현지조사와 측량을 위한 접근이 양호한 산림지역이다. 따라서 본 연구지역은 나대지(잡초), 관목, 활엽수, 침엽수가 혼재되어 있는 지역을 선정하였다. (그림 2 참조)

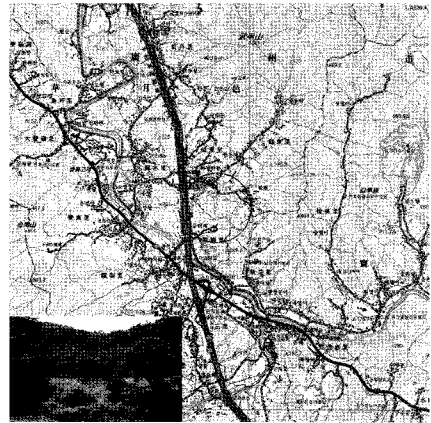


그림 2. 연구대상지역

기준점은 모든 자료의 기준이 되는 것으로 충분한 정확도를 확보하기 위하여 현지답사를 통하여 측량을 실시하였다. 측량은 GPS와 정밀 레벨 장비를 이용하여 각 측량 기준점의 수평(X, Y), 높이(Z)를 산출하였다. 필요한 기준점을 측량하기 위하여 국가 기준점으로부터 망(그림 3참조)을 구성하여 접근이 용이한 곳에 기준국 GPS를 설치하여 이곳으로부터 모든 기준점을 측량하였다.

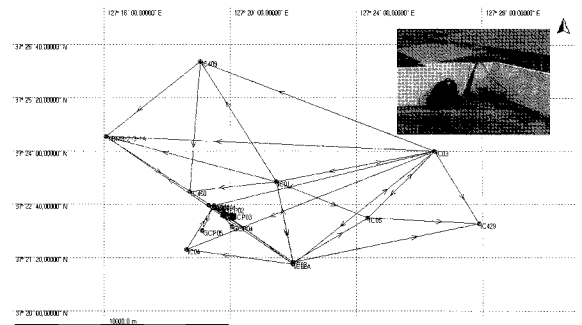


그림 3. 측량망 구성과 기준국 GPS

측량망으로부터 2주파(L1, L2) GPS 장비로 Leica Geosystems사의 530모델을 이용하여 그림 4에서와 같이

모든 검사점에 대하여 정밀 GPS측량을 실시하여 좌표를 산출하였다. 측량 당시의 신호가 양호한 위성의 수는 평균 5.3개를 수신하였고, 정밀도 저하율(DOP)의 GDOP은 4.3, PDOP은 3.6으로 GPS 측량을 실시할 때의 상태는 양호한 것으로 나타났다.

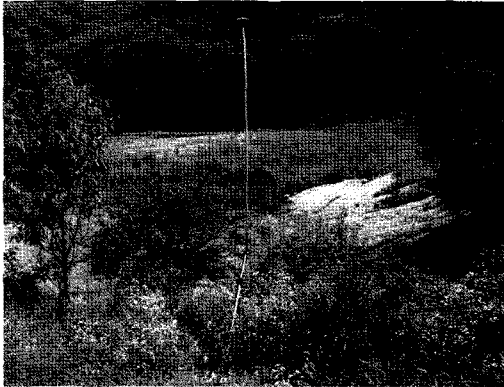


그림 4. 검사점 GPS 측량

측량 성과는 지오이드 모델을 구축하기 위한 기준점과 실제 연구대상 지역의 LiDAR 자료의 정확도 평가용 검사점을 측량하였으며, 검사점은 그림 5와 같이 대상지역에 고르게 분포하도록 하였다.

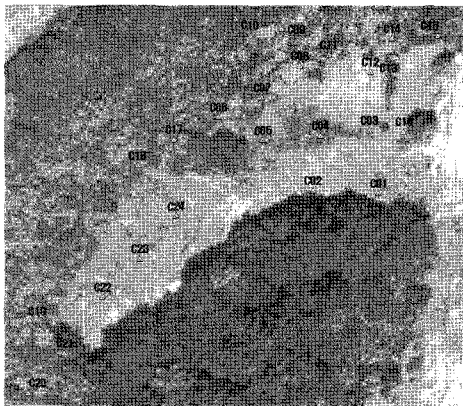


그림 5. 대상지역 및 검사점 분포도

3. 항공 LiDAR 자료 획득

3.1 시스템 구성

본 연구에서는 Leica-Geosystems사의 ALS50 항공 LiDAR 시스템을 사용하였다. 시스템의 주요 구성은 항공시스템의 총괄적인 제어를 담당하는 FCMS(Flight and

sensor Control Management System), 고도자료를 촬영하는 레이저 스캐너, 운영자 및 비행 제어 콘솔 부분으로 이루어진다. 표 1은 본 연구에 사용된 ALS50의 주요 제원이다.

표 1. ALS50 주요 제원

항 목	내 용
Pulse Rate	150kHz
Scan Rate	90Hz
Number of returns	4
운영고도	200~6,000m
FOV	75
운영온도	0~40℃
Digital Camera	7162 × 5389 pixels
Cam Camera	1280 × 1024 pixels

3.2 GPS/INS

본 연구에서 사용한 GPS/INS 장비는 Applanix사에서 제작한 POS AV510이며, GPS 안테나, IMU, PCS(POS Computer System) 등으로 구성되어 있다. GPS 안테나는 항공기 상단에 탑재하여 연결선으로 PCS와 연결하며, IMU는 ALS50 센서 내부에 내장형으로 제작되어 초당 200회 정도의 항공기의 자세관련 정보를 획득한다. PCS는 GPS신호와 IMU 정보를 저장 또는 실시간으로 처리하며 메모리 카드를 이용하여 자료를 전송할 수 있도록 되어있다. GPS 안테나는 항공기의 상단에 구멍을 뚫고 나사로 고정할 수 있게 설계되어 있다. ALS50에는 IMU가 내부에 내장되어 있고, GPS는 컨트롤러와 안테나가 분리되어 있지만, 컨트롤러가 ALS50에 내장되어 있으므로 안테나만 설치하면 된다. 표 2는 본 연구에 사용된 GPS/INS의 제원이다.

표 2. GPS/INS의 제원

모델명	POS AV510
절대위치 정확도	0.5~2.0m(DGPS)
운영온도	-20~60℃
크기	10.9cm × 8.9cm(IMU) 33.5cm × 48.3cm × 11.1cm(PCS)
특징	높은 신뢰성, 낮은 잡음 지도제작 활용 목적으로 제

3.3 대상지역 촬영

촬영을 하기 위해서는 항공기가 이륙 전에 약 30분간의 초기화 과정을 거치게 된다. 이 단계에서는 GPS 정보의 초기화, IMU 자료의 초기화, 기준국 GPS 정보의 초기화를 수행한다.

촬영 시기는 2008년 6월 1일에 수행하였으며, 비행고는 750m, 점밀도는 약 7점/m², 비행 코스간 중복도는 약 50%로 촬영하였다. 항공기의 진행 방향은 남북 방향으로 촬영하였다.

4. 자료처리 및 정확도 평가

4.1 지역 지오이드모델 제작

현재 국내외에서 적용하고 있는 지오이드 모델로는 국지적인 정확한 지오이드고를 계산하기에 다소 부족한 점이 있기 때문에 연구대상지역에 대하여 현지 기준점 측량을 실시하여 국지적인 지역 지오이드 모델을 제작하였다(그림 6 참조).

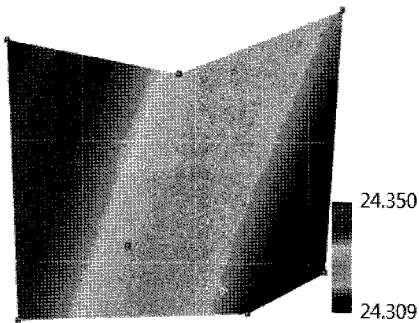


그림 6. 지역 지오이드 모델

지역 지오이드모델 제작에는 총 7점의 기준점이 사용되었으며, 기준점 측량은 직접수측측량에 의하여 이루어졌다. 구축된 지역 지오이드모델을 알려진 지오이드 모델과 비교한 결과(표 3) 우리나라 지오이드모델(KGEOID99)과는 큰 차이가 없었다.

4.2 원시 LiDAR 자료 Classification

LiDAR의 원시자료는 장비 제작 회사마다 다른 파일 포맷으로 저장하고 있다. 즉 Leica 시스템은 *.SCN(LiDAR scan file)의 형식으로 사용하여 저장하며, Optech 시스템은 *.Range(Range Data File)의 포맷을 사용하여 저장하기 때문에 일반적으로 LiDAR의 공통 포맷으로 사용하는 LAS (Log ASCII Standard) 포맷으로 변환

표 3. 지역 지오이드 모델과의 편차

KGEOID99	NORI05	EGM96
0.014	-0.561	0.711
-0.034	-0.569	0.553
-0.006	-0.556	0.576
0.034	-0.558	0.736
0.048	-0.557	0.743
0.080	-0.554	0.764
0.041	-0.561	0.734

하여 사용한다.

LiDAR 자료를 처리하기 위한 소프트웨어는 TerraSolid(Finland)사에서 개발한 TerraScan, TerraModeller를 사용하였다.

LiDAR 자료는 일반적으로 지형의 특성에 따라 여러 가지로 구분하여 분류할 수 있으며, 본 연구에서는 DEM 정확도를 평가하고자 하였기 때문에 DEM에 해당하는 ground class만을 분류하였다. ground class 분류 후에는 에러 값에 해당하는 low class를 분류하였다. low class는 실제 지형보다 더 아래에 위치하게 되는 class로 이는 반드시 ground class 분류 후에 처리를 해야 한다.

그림 7은 ground class에 해당하는 LiDAR 자료 값을 나타낸 것이다. 식생이 많지 않은 농경지나 내대지 등 평탄지에 해당하는 영역에서는 도로의 선형을 볼 수 있을 정도로 많은 레이저 펄스가 도달하여 포인트 형태의 자료만으로도 지형을 어느 정도 구분할 수가 있다.

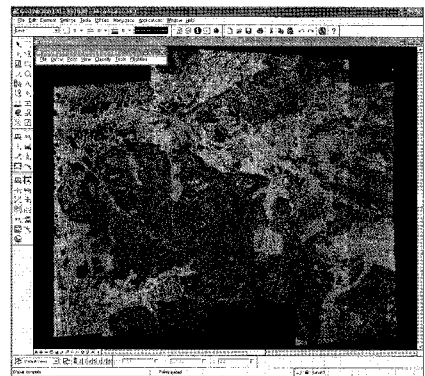


그림 7. ground class로 분류된 LiDAR 자료

4.3 검사점의 특성

항공 LiDAR 자료의 정확도를 평가 분석하기 위하여 연구대상지역에 대하여 검사점용 GPS 현지 측량을 실시하였다. 측량성과는 각 측량지점에 대하여 X, Y, Z의 좌표를 획득하였으며, 대상지역의 특성을 반영할 수 있도록 고르게 분포하도록 검사점을 선정하였다. 검사점의 수량은 24점을 측량하였으며, 대상지역이 주변지역보다 낮은 계곡의 형태를 나타내고 있어 GPS 안테나를 최대한 높이 설치하여 GPS 신호 수신에 양호하도록 하였다. 또한 수목이 존재하는 지점에 대하여는 나뭇잎 등에 가려지지 않도록 캐노피 위쪽으로 안테나가 나오도록 설치하여 측량을 수행하였다.

GPS 측량시 검사점의 높이 값(Z)은 현재 국내의 규정에 따르면 직접수준측량 방식에 의한 표고 값을 산출하도록 되어 있으나 연구대상지역이 넓지 않고 정확도에 커다란 영향을 미치지 않기 때문에 주변에 존재하는 국가 수준점으로부터 표고 값을 산출하였다. 즉 건물 옥상에 기준국을 설치하여 GPS 신호의 수신에 양호하도록 하였으며, 기준국까지 직접수준측량으로 연결 측량하여 이 기준국의 X, Y, Z의 값을 갖도록 하였다. 즉 기준국의 좌표 값으로부터 모든 검사점의 좌표를 산출토록 하였다.

4.4 정확도 검증

대상지역의 LiDAR 자료로부터 ground class 자료 즉, DEM에 해당하는 자료만을 분류한 후 현지측량 성과인 검사점과 비교하여 표 4와 같이 정확도 평가를 실시하였다. 정확도 결과 표준편차가 0.909m로 오차가 상당히 크게 나타남을 알 수 있다.

오차가 가장 큰 검사점은 C09로 전체 정확도에 상당한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. C09 검사점의 위치는 그림 8에서 보는 것처럼 햇빛이 전혀 들어오지 않



그림 8. C09 검사점 측량

표 4. 검사점 정확도 평가 결과

Number	Known Z	Laser Z	Dz
C01	108.912	109.356	0.444
C02	111.009	111.240	0.231
C03	111.421	111.686	0.265
C04	112.926	112.676	-0.250
C05	113.520	113.528	0.008
C06	114.892	114.881	-0.011
C07	114.220	114.234	0.014
C08	114.238	114.317	0.079
C09	116.378	120.531	4.153
C10	123.161	124.333	1.172
C11	113.778	113.638	-0.140
C12	112.376	112.344	-0.032
C13	111.322	111.721	0.399
C14	111.540	111.556	0.016
C15	109.886	110.272	0.386
C16	109.945	110.022	0.077
C17	116.263	115.978	-0.285
C18	116.550	116.461	-0.089
C19	121.940	122.004	0.064
C20	123.408	123.366	-0.042
C21	122.001	121.252	-0.749
C22	119.005	119.178	0.173
C23	117.811	117.661	-0.150
C24	116.318	115.943	-0.375
Average dz			0.400
Minimum dz			0.008
Maximum dz			4.153
Std deviation			0.909

는 곳으로 주변지역의 수목 종류는 주로 활엽수로 분포하고 있다. 즉 항공 LiDAR의 레이저 빔 footprint의 직경이 대략 40cm 정도이고 햇빛처럼 나뭇잎 사이로 투과해야 함을 감안할 때 햇빛이 전혀 들어올 수 없는 지역에서는 정확도가 현저하게 낮아짐을 알 수 있다.

두 번째로 오차가 크게 나타나는 검사점은 C10으로 C09점으로부터 약10m 정도의 거리를 두고 있다. 두 점 간의 경사는 약 34°로 급경사 지역이다. 그림 9에서처럼 약간의 햇빛이 지면에까지 도달하기는 하나 상층부에는 20년생 정도의 침엽수가 있고 하층부에는 C09점에서처럼 활엽수가 분포하고 있다.

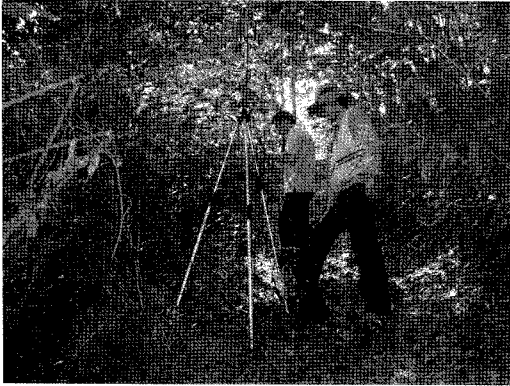


그림 9. C10 검사점 측량

그 다음 세 번째로 오차가 큰 검사점은 C21 측량점으로 지형 특성상 주위보다는 돌출되어 있는 형태를 나타내는 지역이다. 그림 10로 볼 때는 경사지여 보이지는 않지만 이 검사점의 위치를 현장에서 확인한 결과 토양을 모아 놓은 것처럼 주변 1m 이내에서 가장 높게 돌출되어 있는 곳이다. 그리고 사진에서 보이는 것처럼 어두울 정도로 상층부에 많은 활엽수가 분포하고 있다.



그림 10. C21 검사점 측량

외국의 선행연구에서의 검사점에서 산출된 오차와 국지적인 기울기의 관계 외에도 오차와 LiDAR point 점밀도 간의 관계를 그림 11, 과 그림 12를 이용하여 시각적

표 5. 검사점 오차와 경사도 · 점밀도의 상관관계

Number	abs(Dz)	경사도	점밀도
C01	0.444	35.880	2.750
C02	0.231	20.760	3.600
C03	0.265	45.250	2.900
C04	0.250	41.060	3.620
C05	0.008	26.350	3.230
C06	0.011	61.160	1.360
C07	0.014	53.560	0.600
C08	0.079	26.500	0.630
C09	4.153	102.150	0.520
C10	1.172	37.410	0.130
C11	0.140	34.030	1.440
C12	0.032	22.680	3.220
C13	0.399	43.710	2.820
C14	0.016	47.040	0.560
C15	0.386	40.770	0.990
C16	0.077	40.520	1.840
C17	0.285	53.560	0.600
C18	0.089	58.350	1.630
C19	0.064	54.480	0.110
C20	0.042	27.310	0.140
C21	0.749	33.950	1.590
C22	0.173	28.220	3.870
C23	0.150	23.490	3.970
C24	0.375	22.180	4.360

으로 비교하고, 표 5와 같이 정량적으로 비교하였다.

표 5에서 검사점의 표고 오차와 경사도의 상관관계는 $R^2=0.671$, 점밀도와의 상관관계 $R^2=0.222$ 로 계산되었다. 이는 오차의 크기는 경사도와 양의 상관관계를 가지며, 점밀도와는 약하기는 하나 음의 상관관계를 가진다는 의미이다. 점밀도는 수목의 종류와 밀집도에 따라 상당한 변이를 가진다. 선행연구에서 확인된 바와 같이 침엽수에서는 밀집도가 LiDAR 오차에 큰 영향을 주지 않으나, 활엽수에서는 수목의 크기에 따라 매우 큰 오차가 발생할 수 있기 때문에 침엽수와 활엽수가 혼재되어 있

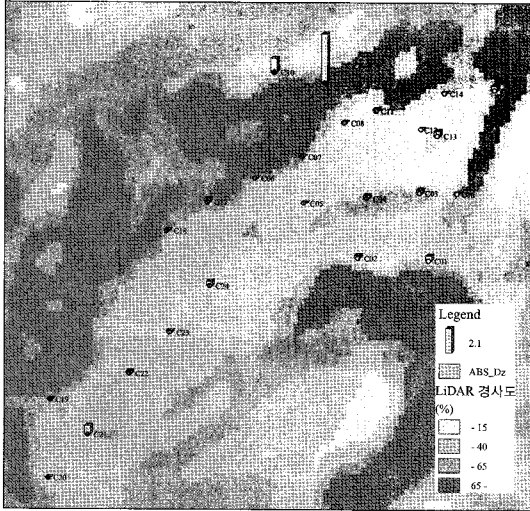


그림 11. 검사점 오차와 국지적 경사 비교

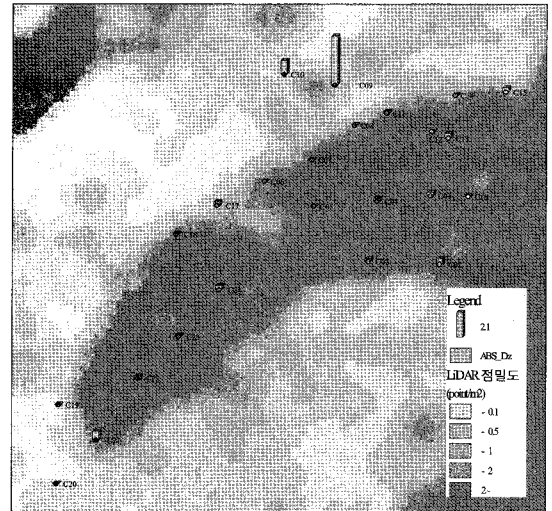


그림 12. 검사점 오차와 LiDAR 점밀도 비교

는 연구 대상지역에서도 이와 같은 결과가 얻어진 것으로 판단된다.

이와 같은 결과는 우리나라에서와 같이 활엽수와 혼효림이 경사지에 넓게 분포하는 특성을 가진 산림지역에서 수행되는 하절기의 LiDAR 측량에서 문제가 발생할 수 있음을 시사하고 있다.

5. 결 론

항공 LiDAR 측량은 국내의 몇 개 항공측량회사에서 도입하기 시작하여 연구단체를 거쳐 현재 국가의 공간정보구축에 활용하기 시작하였다. 대표적인 활용분야로서는 국가 기본도를 제작하기 위한 수치표고자료 및 이를 이용한 산림지역의 등고선 제작에 가장 많이 활용하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 여러 식생이 혼재된 산림지역을 대상으로 정확도 분석을 수행한 결과 활엽수가 많이 분포하고 있는 산림지형에서는 많은 LiDAR point가 지표면까지 도달하지 않음에 따라 크기는 4m 이상의 오차가 발생하였으며, 검사점과의 비교를 통해 산출된 RMSE 역시 0.909m로 국토지리정보원의 규정을 만족시킬 수 없음을 확인하였다. 이와 같은 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

산림지역에서 항공 LiDAR 측량의 오차는 국지적 경사도에 따라 큰 영향을 받으며, LiDAR point의 국지적 밀도에도 일정부분 영향을 받는다. LiDAR point의 밀도는 식생의 종류와 밀도에 영향을 받기 때문에 측량 대상

지역의 상태에 따라 점밀도와 중복도를 조정해야 할 것이다. 즉, 하절기에 활엽수가 밀집한 지역에서는 점밀도와 중복도를 높임으로서 LiDAR point의 밀도를 높일 수 있도록 하여야 한다.

항공 LiDAR 측량이 활엽수나 혼효림으로 구성된 경사지에서는 과대한 오차를 산출할 수 있다. 따라서 수치지도를 제작하기 위해 촬영하는 항공사진측량에서처럼 산림지역에 대한 수치표고모형을 제작하고자 할 경우에는 가급적 계절적 요소를 고려하여 수목에서 낙엽이 떨어진 이후 항공 LiDAR 측량을 실시해야 할 것으로 판단된다.

또한, 항공 LiDAR를 이용하여 산림지역에 대한 수치표고자료를 제작하고자 할 경우 검사점 측량은 계절적, 식생구성 요소에 따라 검사점의 수량을 조정하여야 한다. 즉, 활엽수가 우거진 하절기에는 검사점의 수량을 늘려 LiDAR footprint와 인접한 위치의 검사점에서 오차가 검증될 수 있도록 하여야 한다. 이를 통해 수치표고자료 생성시 내삽에 의해 발생하는 오차의 영향을 최소화할 수 있다.

본 연구는 다양한 식생을 가진 우리나라의 산림지역에서 LiDAR 자료의 정확도를 평가한 첫 시도이다. 향후 산림지역의 수종, 수고, 밀도 및 지형 경사도가 각각 항공 LiDAR 측량의 정확도에 미치는 영향을 정량화하여 LiDAR 측량의 활용도를 더욱 제고할 수 있는 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

- 국토지리정보원 (2006), 다차원 공간정보구축에 관한 연구
- 국토지리정보원 (2009), 항공레이저측량 작업규정
- 유환희, 김성삼, 정동기, 홍재민 (2005) LiDAR 자료를 이용한 DTM 생성 정확도 평가, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 23권, 제 3호, pp. 261-272.
- 이병길 (2001), 대축척 DSM 제작을 위한 항공레이저측량 데이터의 보정에 관한 연구, 서울대학교, 박사학위논문.
- Hofton, M. A., Rocchio, L. E., Blair, J. B. and Dubayah, R.(2002), Validation of Vegetation Canopy Lidar sub-canopy topography measurements for a dense tropical forest, *Journal of Geodynamics*, Elsevier, Vol. 34, pp.491-502.
- Hollaus, M., Wagner, W., Eberhöfer, C. and Karel, W.(2008), Accuracy of large-scale canopy heights derived from LiDAR data under operational constraints in a complex alpine environment, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, ISPRS, Vol. 60, pp.323-338.
- Hopkinson, C., Chasmer, L. E., Sass, G., Creed, I. F., Sitar, M., Kalbfleisch, W. and Treitz, P.(2005), Vegetation class dependent errors in lidar ground elevation and canopy height estimates in a boreal wetland environment, *Canadian Journal of Remote Sensing*, Canadian Remote Sensing Society, Vol. 31(2), pp. 191-206.
- Hyypä, J., Pyysalo, U., Hyypä, H. and Samberg, A.(2000), Elevation Accuracy of Laser Scanning- Derived Digital Terrain and Target Models in Forest Environment, *Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop LIDAR, Dresden/FRG*, pp.139-147.
- Reutebuch, S. E., McGaughey, R. J., Andersen, H. E. and Carson, W. W. (2003), Accuracy of a high-resolution lidar terrain model under a conifer forest canopy, *Canadian Journal of Remote Sensing*, Canadian Remote Sensing Society, Vol. 29(5), pp.527-535.
- Schenk, T. and Toth, C.(1992), Conceptual Issues of Softcopy Photogrammetric Workstations, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 58(1), pp.101-110.
- Schenk, T.(1996), *Concepts in Digital Photogrammetry, Course Note*, Korean Society for Geo-Spatial Information System, Seoul.
- Streutker, D. R. and Glenn, N. F.(2006), LiDAR measurement of sagebrush steppe vegetation heights, *Remote Sensing of Environment*, Elsevier, 102, pp. 134-145.
- Yao, C. and Ma, H.(2008), An automatic method based on gridding segmentation for trees' classification in forested areas, *The International Conference of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 37, Part B3b. Beijing.

(접수일 2009. 9. 15, 심사일 2009. 10. 6, 심사완료일 2009. 10. 23)