

# LiDAR 반사강도와 DSM을 이용한 지상기준점 활용방안

## Utilization of Ground Control Points using LiDAR Intensity and DSM

임 새 봄\*      김 중 문\*\*      신 상 철\*\*\*      권 찬 오\*\*\*\*  
Sae Bom Lim      Jong Mun Kim      Sang Cheol Shin      Chan O Kwon

**요 약** 항공삼각측량(AT: Aerial Triangulation)은 정사영상을 제작하기 위해 필수적인 과정으로 현장측량을 통해 얻어진 지상기준점 성과와 GPS/INS를 통해 얻어진 외부표정요소를 기준좌표로 이용하여 사진상의 모든 좌표를 지상좌표화 하는 과정이다. 이 과정에서 요구되는 지상기준점은 GPS 및 토탈스테이션 등을 이용한 직접측량과 수치지형도를 이용한 간접측량 등의 방법으로 좌표를 취득한다. GPS 및 토탈스테이션을 이용한 직접측량은 현장에서 소요되는 인원, 시간, 비용 등의 경제적인 비용이 많이 소비되므로 효과적이지 않은 반면, 수치지형도로부터 지상기준점을 추출하는 경우는 수치지형도를 활용하여 직접 선점해야하는 수동적인 작업방식으로 인해 오차가 발생되며, 정확도 확보에 한계가 있다. 본 연구에서는 효과적인 항공삼각측량을 위해 LiDAR의 반사강도와 LiDAR DSM을 활용하여 식별이 가능한 도로경계선, 방지턱, 건물 등으로 지상기준점을 선점 후, 직접 측량을 통해 얻어진 지상기준점과 비교·분석하고, 수치지형도의 허용오차를 기준으로 정확도 평가를 실시하였다. 또한 각각의 경우에서 얻어진 지상기준점을 이용하여 항공삼각측량을 실시하고 오차 분석을 실시하였다.

**키워드** : 항공삼각측량, LiDAR 반사강도, DSM, 지상기준점

**Abstract** AT(Aerial Triangulation) is the essential procedure for creating orthophoto and transforming coordinates on the photographs into the real world coordinates utilizing GCPs (Ground Control Point) which is obtained by field survey and the external orientation factors from GPS/INS as a reference coordinates. In this procedure, all of the GCPs can be collected from field survey using GPS and Total Station, or obtained from digital maps. Collecting GCPs by field survey is accurate than GCPs from digital maps; however, lots of manpower should be put into the collecting procedure, and time and cost as well. On the other hand, in the case of obtaining GCPs from digital maps, it is very difficult to secure the required accuracy because almost things at each stage in the collecting procedure should rely on the subjective judgement of the performer. In this study, the results from three methods have been compared for the accuracy assessment in order to know if the results of each case is within the allowance error: for the perceivable objects such as road boarder, speed bumps, constructions etc., 1) GCPs selection utilizing the unique LiDAR intensity value reflected from such objects, 2) using LiDAR DSM and 3) GCPs from field survey. And also, AT and error analysis have been carried out with GCPs obtained by each case.

**Keywords** : Aerial Triangulation, LiDAR intensity, DSM, Ground Control Point

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

최근 들어 상업용 LiDAR 시스템이 보편화됨에

따라 국내외적으로 많은 분야에서 활용이 급진적으로 증가하는 추세이다. 이러한 LiDAR 시스템은 수치지형도 제작 목적을 위한 요구정확도를 확보하기 시작한 1990년 중반부터 성능이 더욱 향상되어 다

\* 새한항업(주) 지오메틱스 연구원 qha84@naver.com

\*\* 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정 kcmun@seoul.go.kr

\*\*\* 새한항업(주) 지오메틱스 연구소장·공학박사 nikoshin@paran.com

\*\*\*\* 새한항업(주) 지오메틱스 과장·공학박사 kambel@naver.com(교신저자)

양한 분야에서 활용도가 증가하고 있는 실정이다. 특히, LiDAR 기술을 이용한 DSM 제작, 건물추출, 3차원 도시모델 구축 등의 다양한 연구가 활발하게 수행되고 있다. 항공 LiDAR(Light Detection and Ranging)시스템은 넓은 지역에 대한 다량의 3차원 공간좌표 데이터와 반사강도를 정확하게 획득할 수 있을 뿐 만 아니라, 항공사진과는 달리 기후에 관계 없이 주야로 자료획득이 가능하다[6][8]. 또한 스캐너로부터 지표면까지 거리를 직접 산출할 수 있으므로 고밀도의 표고정보를 신속하고 효율적으로 얻을 수 있다. 항공 LiDAR시스템에서 얻어지는 반사강도는 반사되는 대상물의 물질에 따라 다른 강도를 얻을 수 있어 식생의 식별 등에 이용할 수 있으며, 수목 및 식생에 관한 여러 가지 정보도 추출할 수 있다. 특히 접근이 어려운 해안지역의 표고정보나 지도제작 분야에 효과적으로 이용되고 있다. 다양한 분야에서 활용되는 LiDAR 기술은 특히, 항공삼각측량을 통해 획득된 영상을 활용한 정사영상제작에도 활용된다. 정사영상 제작 필수공정으로 항공삼각측량(AT: Aerial Triangulation)이 있으며, 항공삼각측량은 항공사진촬영을 통해 획득한 사진들에 대해 지상의 모형과 똑같은 상태로 기하학적인 방법에 의해 재현시키기 위한 작업으로 즉 사진좌표를 지상좌표로 변환하는 과정을 말한다. 지상기준점은 현장측량을 통해 2차원 또는 3차원 좌표를 획득하고 이러한 지상기준점 성과와 GPS/INS를 통해 얻은 외부표점요소를 기준좌표로 이용하여 사진상의 모든 좌표를 지상좌표화 하게 된다. 항공삼각측량을 수행하기 위해 사용되는 지상기준점은 영상에서 식별이 용이하면서 지상좌표계로 좌표값이 정확하게 주어진 지상기준점으로서 평면과 높이로 구분하여 실시하며, GPS 등을 이용한 직접 측량 방법을 통해 취득하거나 수치지형도 등에서 간접적으로 취득한다. 이때, 직접측량방법으로 지상기준점을 취득하는 경우, 현장에서 소요되는 인원, 시간, 비용 등의 경제적인 비용이 많이 소비된다는 문제점을 가지고 있다. 이에 직접측량을 할 수 없을 경우에 보편적으로 사용되고 있는 수치지형도로부터 지상기준점을 추출하는 경우도 사람이 직접 눈과 손을 이용하여 선점하는 수동적인 작업방식으로 인해 발생하는 오차로 정확도의 한계가 있으며, 선점 과정에서도 실제 영상과 수치지형도에서 공통되는 지점을 쉽게 식별하기 어렵다는 문제점을 가지고 있다[10].

이에 본 연구에서는 LiDAR의 반사강도와 DSM을 통해 취득된 각각의 지상기준점을 이용하여 항공삼각측량과정에 적용하여, 기존방식과 정확도를 비교·분석을 하였다.

## 1.2 연구현황

일반적으로 항공삼각측량을 수행할 경우, 직접측량을 통해 지상기준점을 획득하였으나, 이러한 직접측량은 시간 및 비용의 낭비를 가지고 있기 때문에 기존 연구에서는 이러한 낭비를 최소화하기 위해 다양한 연구가 진행되었다.

[10]은 LiDAR의 반사강도와 DSM를 활용하여 지상기준점을 추출하여 기존 수치지형도에서 추출한 지상기준점과 직접측량을 통해 얻어진 지상기준점을 비교·분석하였다. LiDAR 반사강도에서 추출한 지상기준점을 사용하여 항공삼각측량을 수행했을 경우, 평균오차값이 1.02m, 수치지형도에서 추출한 지상기준점을 사용하여 항공삼각측량을 수행했을 경우, 평균오차값이 1.13m로 LiDAR 반사강도에서 지상기준점을 이용하여 항공삼각측량을 수행했을 때 정확도가 높게 나타남을 확인할 수 있었다. 또한, [13]은 지상기준점은 실제 측량이나 지형도로부터 얻게 되지만, 이러한 작업이 불가능한 경우에는 전세계적으로 얻을 수 있는 GTOPO-30 수치표고자료와 Delft공대에서 제공하는 ERS-SAR 영상을 이용하여 비접근 지역에 대한 지상기준점을 추출 방식에 대해 연구하였다. 그 결과 레이더 위성 영상을 이용하여 접근이 제한적인 지역 및 기상이나 취득 시간 제약이 있는 지역에 대한 지상기준점의 취득할 수 있었고, 이는 지상기준점 추출영역에서 위성영상의 사용가능성을 보여주었다.

[4]은 SPOT영상의 모델링을 위해 수치지형도를 지상기준점으로 사용하였는데, 수치지형도를 이용한 방법은 지상측량에 비해 정확도가 저하되나 측량이 불가능한 지역 및 비접근 지역의 지상기준점으로 사용하기 용이하며 이를 비교분석하기 위하여 직접측량을 통해 얻어진 지상기준점과 정확도를 분석하였다. 그 결과 위성영상 모델링을 위한 수치지형도 추출 지상기준점의 경우 직접측량을 통해 얻어진 지상기준점을 사용한 결과와 비슷한 수준의 결과를 얻었음을 알 수 있었다.

[14]은 라이다 데이터로부터 지상기준점을 추출하여 항공사진의 AT를 수행하였으며 각각 GPS 측량, LiDAR 데이터, 1:25,000 Vicmap(Victoria's eight fundamental spatial dataset-Australia)에서

산출한 지상기준점을 비교하였다. 그 결과 LiDAR 데이터에서 추출한 지상기준점이 더 정확한 값을 가진다는 것을 확인할 수 있었다.

## 2. LiDAR 시스템

### 2.1 개요

LiDAR 시스템은 주로 항공기에 장비를 탑재하여 측량을 수행하므로 ALS(Airborne Laser Scanner)라고 하며 레이저를 사용하므로 LADAR(LASER Detection and Ranging)라고도 한다.

그림 1과 같이 LiDAR는 센서의 위치결정을 위하여 전지구측위시스템(GPS: Global Positioning System)과 자세결정을 위해서 관성항법시스템(INS : Inertial Navigation System)을 이용한다. GPS는 지상에 설치된 기준국 데이터를 이용하여 DGPS 기법에 의하여 후처리함으로써 정확도를 얻을 수 있고 IMU는 항공기의 회전각의 불규칙적인 변화로 인한 레이더의 연직방향 스캔을 보정할 수 있다[1].

지표면의 위치는 레이저 거리 측량에 의해서 결정되며, 측정인자인 레이저 스캐너에 지상목표물을 거쳐 되돌아오는 레이저 펄스의 발사 이동시간, 레이저 펄스시점의 스캔각도, 빛의 속도에 미치는 대기 굴절효과, 레이저 발사시점의 항공기 자세, 레이저 펄스 발사시점의 레이저 스캐너의 3차원 정보를 통해 지상의 X, Y, Z 좌표값을 얻을 수 있다.

### 2.2 반사강도(Intensity)

LiDAR의 반사강도는 ‘반사체에 반사되어 스캐너에 도달한 레이저 강도 대 발사된 레이저 강도의 비율’로서 주로 반사체의 반사도에 의해 그 값이 결정된다. 반사체는 물질적 특성과 사용된 광원에 의해 고유한 반사도를 가지므로 반사체에 따라 반사강도 값이 상이하게 나타난다.

LiDAR의 반사강도는 Color scheme에 의해 나타나는데 그림 2와 같이 LiDAR의 반사강도를 Color scheme를 통해 흑백사진처럼 표현이 가능하다. 또한, 그림 3과 같이 Color scheme를 통해 컬러사진처럼 표현도 가능하며 Color scheme의 세밀한 조정에 따라 LiDAR 반사강도를 통해 지상기준점을 선점하기 유리하다.

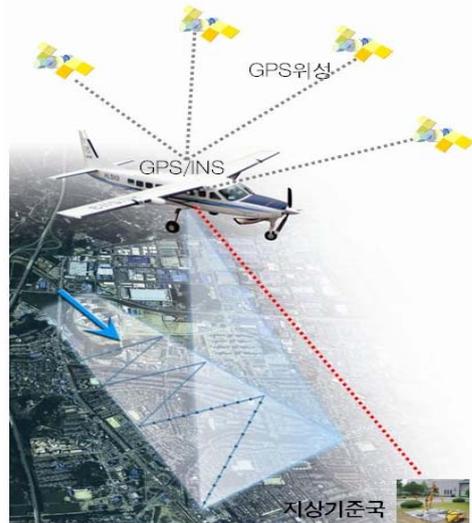


그림 1. LiDAR 원리



그림 2. LiDAR의 반사강도

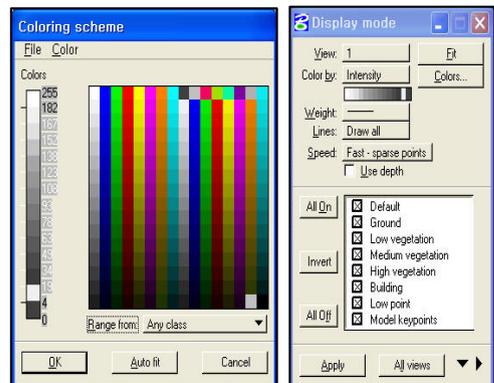


그림 3. Color scheme

### 2.3 수치표면모델

수치표면모델(DSM: Digital Surface Model)은 지형의 표면, 자연 및 인공구조물의 3차원 위치정보를 표현하는 자료구조이다[5]. LiDAR DSM은 LiDAR 원시데이터에서 GPS/INS 데이터 처리가 선행되어야 하며 정확한 위치정보 획득을 위하여 항공기에서 수신한 위치정보와 GPS 기준국의 위치정보를 입력하여 DGPS를 수행함으로써 LiDAR 원시자료를 취득한다. 취득된 원시자료에는 레이저 포인트의 발사각도, 발사시간, Return Time(포인트 거리) 등이 기록되어 있다. DSM을 획득하기 위하여 센서별 전용S/W를 이용하고 처리과정에서 시스템

검정(calibration)값을 보정하였으며, 세계측지계(GRS80)와 평면직각좌표계(TM, 중부원점)로 지정하고, LiDAR 측량에 의한 타원체고는 EGM96 모델을 이용하여 정표고로 변환한 후, DSM를 구축하였다. 그림 4는 LiDAR DSM를 나타낸다.

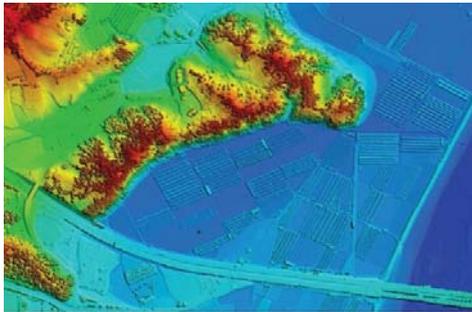


그림 4. LiDAR DSM

## 3. 연구방법

### 3.1 연구지역

연구지역은 안성·이천의 일부지역으로 선정하였으며, 그림 5는 연구지역을 보여주고 있다.

본 연구에 사용된 데이터는 Leica사의 항공 레이저 시스템인 ALS60을 이용하여 획득한 데이터이며, 항공기의 고도는 약 1,500m이었으며, 레이저 측정점의 밀도는 2.62m<sup>2</sup>, 촬영폭은 891m이었다. 시스템의 주요 제원은 표 1과 같다.

### 3.2 지상기준점 선정

정확도 평가를 위해 현지측량을 통해 30개의 지상기준점을 취득하였다. 지상기준점의 분포는 그림

표 1. 항공 레이저 측량장비(ALS60) 세부사항

세부사항	내용
Scan Angle	Variable from 0 to 40°
Scan frequency	90Hz
Laser repetition rate	200 kHz
Operating Altitude	200~6,000m
Horizontal accuracy	< 15cm at 1,000m(1σ) < 24cm at 2,000m(1σ) < 34cm at 3,000m(1σ)
Elevation accuracy	< 11cm at 1,000m(1σ) < 13cm at 2,000m(1σ) < 15cm at 3,000m(1σ)



그림 5. 연구지역

6에 표시하였으며, 직접 측량방법으로 취득된 지상기준점, LiDAR 반사강도에서 추출된 지상기준점, LiDAR DSM에서 취득한 지상기준점을 동일한 지점으로 취득하여 정확도 평가를 실시하였다.



그림 6. 지상기준점 선정

### 3.3 연구방법

항공삼각측량을 수행하기 위해서는 영상에서 식별이 용이하면서 좌표값이 정확하게 주어진 지상기

준점이 필요하다. 현재 사용되는 지상기준점은 평면과 수준으로 구분하여 실시하며, GPS등을 이용하여 직접 측량 방법을 통해 취득하거나 수치지형도(1/1,000 및 1/5,000) 등에서 간접적으로 취득한다 [10].

LiDAR 반사강도와 DSM으로부터 추출한 지상기준점을 이용한 항공삼각측량에 대한 연구 방법은 그림 7과 같다.

LiDAR 반사강도는 마치 흑백사진과 같이 보이기 때문에 지상기준점 선점이 용이하며, LiDAR DSM은 실세계의 모든 정보를 표현하고 있어 지상기준점 추출이 유리하다. 또한, LiDAR 반사강도와 DSM은 별도의 기준점 측량이 불리한 지역이면서 대측척이 아닌 경우에 지상기준점으로 사용할 수 있다.

정확도 평가를 위하여 디지털 카메라로 취득된 항공사진은 외부표정요소를 이용한 표정 작업의 간소화가 이루어지면서 상호, 절대표정을 통해 항공삼각측량을 수행하였다. 외부표정요소는 GPS의 경우 지상에 기준국을 설치하고 항공기에 이동식 GPS를 설치하여 DGPS에 의한 좌표를 결정하는 방식이며, INS의 경우 항공기에서 촬영을 하는데 있어 외부여건에 의하여 연직 사진이 없으므로 촬영 당시의 항공기의 자세정보를 구하는데 있다. 수집된 항공기의 GPS 및 INS데이터, 지상기준국 데이터는 처리 소프트웨어에 의해 통합처리하여 외부표정요소를 산출하였다.

본 연구에서는 LiDAR 반사강도와 DSM를 이용하여 추출한 지상기준점과 직접측량을 통해 얻어진 지상기준점을 비교·분석하였다. 또한, 직접측량을 통해 얻어진 지상기준점을 이용한 항공삼각측

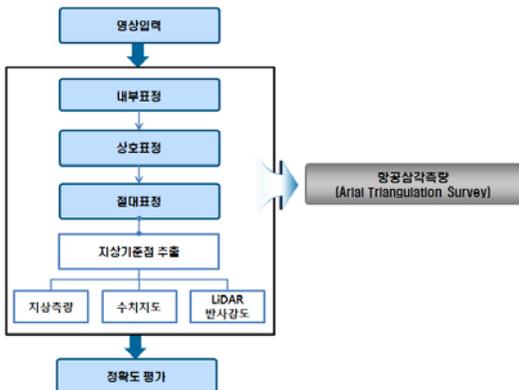


그림 7. 연구방법

량 성과와 LiDAR 반사강도와 LiDAR DSM에서 추출한 지상기준점을 이용한 항공삼각측량 성과와 정확도 평가를 실시하였다.

## 4. 데이터 처리

### 4.1 항공 LiDAR 데이터 처리

LiDAR 반사강도는 LiDAR를 취득할 당시의 고 유속성이다. 하지만 이러한 LiDAR 반사강도 값의 강·약으로만 생각표현이 가능하기 때문에 높이에 따른 건물이나 지표면을 색상별로 구분하기 쉽지 않다. 그러므로 먼저 높이에 의한 분류가 가능한 항공 LiDAR 데이터에서 지상기준점을 추출하는 과정을 선행하여, 지상의 모든 지형지물이 혼합되어 있는 LiDAR 원시 데이터를 각각 지표면, 식생, 건물로 분류하였다.

항공레이저 측량을 이용한 수치표고자료 구축 전체 작업공정은 그림 8과 같으며 각각의 처리방법을 통해 수치표면자료(DSD, Digital Surface Data)로 수치지면자료(DTD, Digital Terrain Data), 수치표고모형(DEM, Digital Elevation Model) 등으로 생성된다. 항공레이저 측량 데이터의 전처리는 취득된 레이저데이터, 항공기의 GPS/INS 데이터 및 GPS 지상기준국 데이터를 통합 처리하여 X, Y, Z의 원시 레이저 포인트 데이터를 얻어내는 과정이며, 후처리 작업은 원시 레이저 포인트를 구분(Classification)하고 이를 이용하여 수치표고자료, 등고선도, 음영기복도 등을 제작할 수 있다.

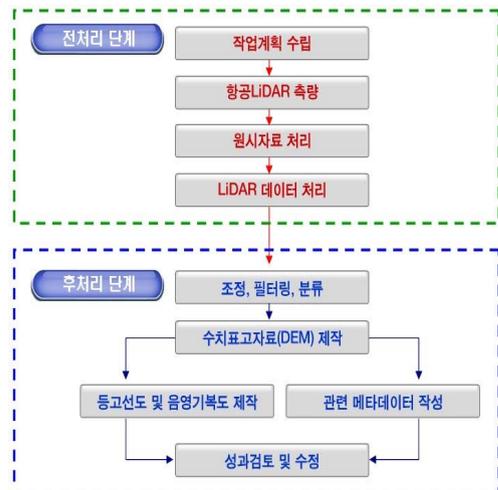


그림 8. LiDAR 처리과정

### 4.2 LiDAR 반사강도로부터 지상기준점 추출

LiDAR 반사강도는 입사된 레이저의 강도와 반사된 레이저의 강도의 비로, 주로 반사체의 반사도에 의해 영향을 받으며, 반사체의 물질적 특성에 따라 고유의 반사도를 가진다. 따라서 지상물의 종류를 규명할 수 있는 중요한 정보가 될 수 있다[12].

이러한 LiDAR 반사강도의 특성을 활용하여 그림 9와 같이 식별이 가능한 도로경계선, 방지턱, 건물 등으로 지상기준점을 선점하였다. 지상기준점 선점 시 가장 구별이 쉬우면서도 낮은 지물을 지상기준점으로 선점하였다.

### 4.3 DSM으로부터 지상기준점 추출

Digital Surface Model(DSM)은 실세계의 모든 정보 즉, 지형, 수목, 인공구조물 등을 표현한 수치 모델을 의미한다. 이는 다양한 형태의 객체들이 모두 포함되어 있으므로 다양한 지형 분석에 가능하기 때문에 이를 이용한 지상기준점 추출이 용이하게 이루어진다. 정확도 평가를 위해 LiDAR 반사강도를 이용해 추출한 지상기준점과 동일한 지점을 그림 10과 같이 추출하였다.

## 5. 결과 및 분석

### 5.1 LiDAR 반사강도와 DSM을 이용해 추출한 지상기준점과 직접측량 지상기준점 비교·분석

효율적인 항공삼각측량 수행을 위한 방법으로 LiDAR 반사강도와 DSM을 활용하여 추출한 지상기준점과 직접측량으로 취득된 지상기준점을 비교·분석 하였다. 직접측량을 통해 얻어진 지상기준점과 동일한 점을 비교하였으며, LiDAR 반사강도와 DSM을 통해 식별이 가능한 점에 대해 비교하였다. LiDAR 반사강도를 이용해 추출한 지상기준점과 직접측량을 통해 얻어진 지상기준점을 비교한 결과, 평면위치에서 표 2와 같이 최대 0.69m, 최소0.02m, 평균 0.32m, 표준편차 0.13m, RMSE 0.34m로 나타났다. LiDAR DSM를 이용해 추출한 지상기준점과 직접측량을 통해 얻어진 지상기준점을 비교한 결과, 평면위치에서 표 3과 같이 최대 1.78m, 최소 0.82m, 평균 0.56m, 표준편차 0.68m, RMSE 1.13m로 나타났다.

직접측량을 통해 취득한 지상기준점 성과와 비교한 RMSE가 DSM를 통해 취득된 지상기준점이 LiDAR 반사강도에 의해 취득된 지상기준점에 비해 3배 이상 차이가 있음을 확인할 수 있다.

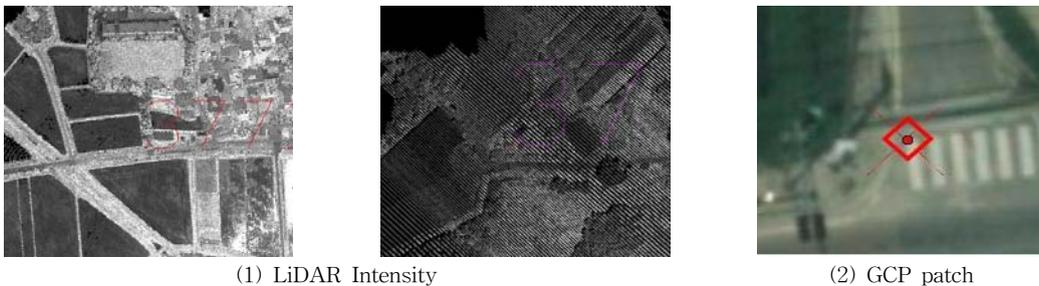


그림 9. LiDAR 반사강도를 통한 지상기준점 추출

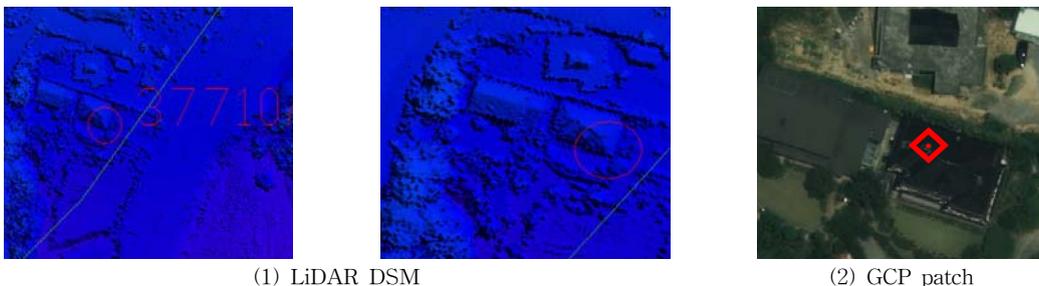


그림 10. LiDAR DSM을 통한 지상기준점 추출

표 2. LiDAR 반사강도를 활용한 지상기준점과 직접측량을 통해 얻어진 지상기준점 성과의 오차비교 결과

단위 : m

오차 분석	X	최대	최소	평균	표준편차	RMSE
		0.63	0.00	0.20	0.13	0.24
	Y	최대	최소	평균	표준편차	RMSE
		0.66	0.01	0.20	0.14	0.24
	Z	최대	최소	평균	표준편차	RMSE
		1.00	0.00	0.19	0.17	0.25
평면 거리	최대	최소	평균	표준편차	RMSE	
	0.69	0.02	0.32	0.13	0.34	

표 3. LiDAR DSM를 통해 추출한 지상기준점과 직접측량을 통해 얻어진 지상기준점 성과 오차비교 결과

단위 : m

오차 분석	X	최대	최소	평균	표준편차	RMSE
		0.75	0.06	0.23	0.30	0.90
	Y	최대	최소	평균	표준편차	RMSE
		1.34	0.04	0.27	0.35	0.97
	Z	최대	최소	평균	표준편차	RMSE
		1.16	0.04	0.28	0.37	0.98
평면 거리	최대	최소	평균	표준편차	RMSE	
	1.78	0.82	0.56	0.68	1.13	

표 4. 세부도화 묘사오차의 허용범위

도화축척	표준편차			최대오차			비고
	평면위치	등고선	표고점	평면위치	등고선	표고점	
1/1,000	0.2m	0.3m	0.15m	0.4m	0.6m	0.3m	
1/5,000	1.0m	1.0m	0.5m	2.0m	2.0m	1.0m	
1/25,000	5.0m	3.0m	1.5m	10.0m	5.0m	2.5m	

※ 국토지리정보원 수치지형도 작성작업내규 제정(2009년)

표 5. 항공삼각측량 성과 오차비교 결과

단위 : m

오차 분석	구분	지상기준점 항공삼각측량 성과	LiDAR intensity 항공삼각측량 성과	LiDAR DSM 항공삼각측량 성과
	X	0.028	0.290	0.393
	Y	0.034	0.228	0.409
	Z	0.018	0.206	0.209

### 5.3 LiDAR 반사강도와 LiDAR DSM을 이용한 항공삼각측량 결과 및 분석

항공삼각측량은 도화기 또는 좌표측정기에 의하여 항공사진상에서 측정된 구점의 모델좌표 또는 사진좌표를 지상기준점 및 GPS/INS 외부표정 요소를 기준으로 지상좌표로 전환하는 작업이다(국토지리정보원, 2006).

본 연구에서는 표 5는 직접측량으로 취득된 지상기준점을 사용하여 계산한 항공삼각측량의 결과와 LiDAR 반사강도와 LiDAR DSM를 사용하여 계산한 항공삼각측량의 결과이다. 직접측량으로 취득된 지상기준점을 사용하여 항공삼각측량을 수행한 결과, X좌표로 0.028m, Y좌표로 0.034m, Z좌표로 0.018m의 오차가 있었으며, LiDAR 반사강도를 사용하여 계산한 항공삼각측량의 결과, X좌표로 0.290m, Y좌표로 0.228m, Z좌표로 0.206m의 오차가 나왔음을 확인 할 수 있다. 또한, LiDAR DSM를 사용하여 계산한 항공삼각측량의 결과, X좌표로 0.393m, Y좌표로 0.409m, Z좌표로 0.209m의 오차가 나왔음을 확인 할 수 있다.

## 6. 결론

현재 항공삼각측량을 위해 사용되는 지상기준점은 평면과 수준으로 구분하여 실시하며, GPS나 토달스테이션 등, 직접측량을 통해 취득하거나 수치지형도 등 간접측량을 통해 3차원 좌표를 취득하기도 한다.

본 연구에서는 LiDAR 반사강도와 LiDAR DSM을 이용하여 추출된 지상기준점 성과 비교·분석 및 이를 사용하여 수행한 항공삼각측량 결과와 현지측량한 지상기준점을 이용하여 수행한 항공삼각측량 결과에 대해 정확도평가 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) LiDAR 반사강도를 이용한 항공삼각측량 결과 X좌표로 0.290m, Y좌표로 0.228m, Z좌표로 0.206m의 오차가 나왔음을 확인 할 수 있다. 이는 토지리정보원 수치지형도 작성작업내규(2009년) 1/5,000 세부도화 묘사오차의 허용범위 안에 들어오는 것을 확인할 수 있다(표 4 참조).

(2) LiDAR DSM를 이용한 항공삼각측량 결과 X좌표로 0.393m, Y좌표로 0.409m, Z좌표로 0.209m

의 오차가 나왔음을 확인 할 수 있다. 이는 LiDAR 반사강도와 동일하게 국토지리정보원 수치지형도 작성작업내규(2009년) 1/5,000 세부도화 묘사오차의 허용범위 안에 들어오는 것을 확인할 수 있다.

(3) LiDAR 반사강도와 LiDAR DSM를 이용해 항공삼각측량 결과, 두가지 경우 모두 1/5,000 수치지형도의 허용오차를 만족함을 확인 할 수 있었다. 그러므로 지상기준점 측량설계가 없는 사업, 서비스, 자체 연구사업 등에는 LiDAR의 반사강도와 LiDAR DSM을 활용한 항공삼각측량을 하는 것이 경제적이고 작업일정을 줄일 수 있을 것이라 판단된다.

(4) 지상기준점 성과와 비교한 RMSE가 DSM이 LiDAR 반사강도에 비해 3배 이상 크게 나타나는 데, 항공삼각측량 성과에서는 DSM이 LiDAR 반사강도에 의한 성과에 비해 크게 차이가 나지 않는 것으로 나타났다. 이는 GPS/INS에 의한 외부표정 요소가 항공삼각측량에 포함되어 지상기준점의 역할이 축소된 때문으로 판단된다.

향후, 본 연구의 향상 및 개선을 위해 LiDAR 반사강도와 LiDAR DSM를 서로 융합하여 활용함으로써, 더욱 정확한 지상기준점 추출을 할 수 있을 것이라 판단되며, 이에 따른 항공삼각측량 성과의 정확도 향상을 기대할 수 있을 것이다.

## 참고 문헌

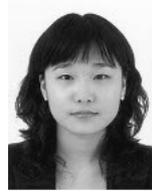
- [1] 강준목, 윤희천, 민관식, 위광재, 2006, LiDAR 자료에 의한 지형해석, 한국측량학회지, 제24권, 제5호, pp. 389-397.
- [2] 김계동, 박정현, 이용욱, 2009, 디지털 카메라를 이용한 사진기준점측량의 정확도 향상에 관한 연구, 한국측량학회지, 제27권, 제2호, pp. 203-211.
- [3] 김용석, 김성철, 2008, LiDAR 데이터를 이용한 지형지물의 위치정확도 분석, 한국콘텐츠학회논문지, 제8권, 제3호.
- [4] 김정기, 엄기문, 이쾌희, 박래홍, 1992, GCP 측량 불가능 지역의 SPOT 위성 모델링에 관한 연구, 대한전자공학회, 제5권, 제1호, pp. 226-231.
- [5] 박선미, 2007, 라이더 DSM을 이용한 엄밀정사영상 제작, 서울시립대학교 공학석사논문.
- [6] 오종민, 2007, 라이더 반사강도를 이용한 AT 및 정사영상의 정확도 평가, 서울시립대 공학석사논문.

- [7] 이재원, 문두열, 김정희, 김진구, 2004, GPS를 이용한 사진기준점 측량에 관한 연구, 한국GIS학회지, 제12권, 제2호, pp.181-191.
- [8] 이현진, 류지호, 김홍섭, 2006, LiDAR 데이터를 이용한 수치지도 제작 방안 연구, 한국지형공간정보학회, 제14권, 제2호, pp. 33-42.
- [9] 위광재, 김은연, 윤홍식, 강인구, 2007, 멀티센서 데이터를 이용한 건물의 3차원 모델링 기법 개발 및 평가, 한국측량학회지, 제25권, 제1호, pp. 2-6.
- [10] 위광재, 최윤수, 오종민, 이임평, 서용운, 2008, 라이다 반사강도에서 추출한 지상기준점의 정확도 비교, 한국지형공간정보학회, 제16권, 제4호, pp. 25-31.
- [11] 정성은, 이우균, 곽두안, 최현아, 2008, LiDAR의 높이 및 밀도 정보를 이용한 도시지역의 3D기반 분류, 한국GIS학회, 제16권, 제3호, pp.373-383.
- [12] 한수희, 송정현, 김용일, 유기운, 2002, LiDAR 반사강도와 DSM을 이용한 토지피복 분류 가능성 평가, 한국 측량학회 추계학술발표회 논문집, pp. 75-78.
- [13] 홍상훈, 정형섭, 이호남, 원중선, 2003, 영상 레이더를 이용한 지상기준점 추출, 한국 GIS 학회 춘·추계학술대회, pp. 115-120.
- [14] Xiaoye Liu, Zhenyu Zhang, Jim Peterson, Shobhit Chandra, 2007, LiDAR-Derived High Quality Ground Control Information and DEM for Image Orthorectification, Geoinformatica, pp. 38-51.

논문접수 : 2010.10.26

수정일 : 1차 2010.11.22 / 2차 2010.11.25

심사완료 : 2010.12.01



**임새봄**

2007년 세종대학교 지구정보공학과 공학사

2009년 세종대학교 대학원 공학석사

2009년~현재 새한항업 지오매틱스 연구원

관심분야는 GIS, 지적, 3차원공간정보



**신상철**

1995년 동아대학교 대학원 공학석사

1998년 동아대학교 대학원 공학박사

2002년~2004년 대한측량협회 측량정보기술연구원 선임연구원

2004년~현재 새한항업 지오매틱스

연구소장

관심분야는 GIS, 지적, 측량, 3차원공간정보



**김종문**

2010년 서울시립대학교 대학원 공학박사 수료

2007년~2010년 서울시 상수도사업본부 시설관리과장

2010년~현재 서울시 상수도사업본부

누수방지과장

관심분야는 GIS, 지적, 측량, 공간정보



**권찬오**

2007년 경일대학교 대학원 공학석사

2010년 경일대학교 대학원 공학박사

2010년~현재 새한항업 지오매틱스 연구소 과장

관심분야는 MMS, 3차원 공간정보, 실내측위, Platform