

연구논문

# 라이다의 반사강도에서 추출한 지상기준점의 정확도 비교 Accuracy Comparison Of Ground Control Points extracting from LIDAR Intensity

위광재\* · 최윤수\*\* · 오종민\*\*\* · 이임평\*\*\*\* · 서용운\*\*\*\*\*

Wie, Gwang Jae · Choi, Yun Soo · Oh, Jong Min · Lee, Im Pyung · Suh, Young Woon

## 要 旨

사진기준점측량을 위한 지상기준점 선점시에 산악지역과 해안지역, 갯벌 등 지상기준점을 선점할 수 있는 뚜렷한 지형과 지물이 없는 지역에서는 효율적으로 지상기준점을 추출할 수 없기 때문에 현지측량의 시간과 비용, 정확도 등에서 문제점이 있다. 본 연구에서는 항공 라이다 반사강도를 지상기준점으로 사용하여 사진기준점측량을 수행한 후에 기 구축된 수치지도에서 추출한 지상기준과 비교하였으며, 또한 현지측량된 검사점을 기준으로 비교·평가하였다. 연구 결과, 라이다 반사강도를 이용하였을 시에는 평균오차가 ±1.02m로 나타났으며, 기 구축된 수치지도를 이용하였을 경우에 ±1.13m로 나타났다. 이 결과는 라이다 반사강도를 지상기준점으로 사용하는 것이 수치지도에서 추출한 것보다 0.11m 향상되었음을 보여준다.

**핵심용어** : AT, 라이다 반사강도, 지상기준점, 항공 레이저 측량

## Abstract

As we choose ground control points for aerial triangulation, we have a lot of problems in a mountain, a costal area, a desert, the foreshore etc because they don't have clear topography for control points and it spends a lot of cost and occurs problems of accuracy. In this study, we compare and analyze between ground control points from LiDAR intensity, digital map with ground control points from the field survey as doing AT each. As the result, the average error was ±1.02m from using LiDAR intensity, ±1.13m from using digital map. this result can present the control points from LiDAR intensity is 0.11m better than from digital map.

**Keywords** : AT, LiDAR intensity, Ground Control point

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

사진기준점측량(AT:Aerial Triangulation)은 많은 항공 사진을 서로 접합 또는 연결하여 블록(Block)을 형성하고 이러한 블록을 하나의 실제모델과 같이 취급하여 적은수의 지상기준점을 사용하여 블록 전체에 대한 대지표정을 완료하고, 블록 안에 포함하여 있는 각 실제 모델의 대지 표정에 필요한 기준점은 도화기에 의하여 실제 모델 안에서 구하거나 계산에 의하여 구하는 것을 말한다.

AT를 수행하기 위해서 영상에서 식별이 용이하면서 지상좌표계로 좌표값이 정확하게 주어진 지상기준점이 필요하다. 현재 사용되는 지상기준점은 평면과 수준으로 구분하여 실시하며, GPS등을 이용하여 직접 측량 방법을 통해 취득하거나 수치지형도 등에서 간접적으로 취득한다. 하지만 산악 및 도서 지역 같은 접근이 불가능한 지역이나 넓은 평야나 사막, 갯벌 등 지상측량이 어려운 지역에 대하여 지상기준점을 효율적으로 추출할 수 있는 방법에 대해서는 한계가 존재한다. 또한 직접측량방법으로 지상기준점을 취득하는 경우오차도 현장에서 소모되는

2008년 11월 11일 접수, 2008년 11월 28일 채택

\* 교신저자·정회원·성균관대학교 사회환경시스템공학과 박사수료, 한진정보통신(주) GIS기술연구소 LiDAR사업그룹 (gjwe@hist.co.kr)

\*\* 정회원·서울시립대학교 공간정보공학과 교수 (yschoi@uos.ac.kr)

\*\*\* 한진정보통신(주) GIS기술연구소 LiDAR사업그룹 (imoh@hist.co.kr)

\*\*\*\* 정회원·서울시립대학교 공간정보공학과 공간정보공학과 교수 (iplee@uos.ac.kr)

\*\*\*\*\* 포항1대학 토목도시과 교수 (ywsuh@pohang.ac.kr)

시간 및 비용 등으로 인해 경제적인 비용이 많이 소비된다는 문제점을 가지고 있다. 이에 직접측량을 할 수 없을 경우에 보편적으로 사용되고 있는 수치지도로부터 지상기준점을 추출하는 경우도 수치지도 자체가 가지는 오차와 사람이 직접 눈과 손을 이용하여 선점하는 수동적인 작업방식으로 인해 발생하는 오차로 인해 정확도에 한계가 있으며, 선점 과정에서도 실제 영상과 수치지도에서 공통되는 지점을 쉽게 식별하기 어렵다는 어려운 문제점을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 최근 들어 다양한 분야에서 적극적으로 활용되고 있는 라이다 데이터의 반사강도로부터 지상기준점을 추출하여 영상의 AT과정에 적용하며, 그 정확도를 평가 하고자 한다. 이를 위하여 수원시 일부 지역을 실험지역으로 선정하였으며 라이다 측량과 1/1,000 수치 지형도, 검사점 측량 등을 수행하였다.

1.2 연구현황

기하 보정된 항공 또는 위성영상 등으로부터 지상기준점을 추출하는 방법은 AT 정확도가 낮아도 큰 영향을 미치지 않는 낮은 해상도의 영상에는 경제적인 대안이 될 수 있다고 판단되지만 높은 정확도가 요구되는 고해상도 항공영상의 AT를 수행하기에는 어려움이 있다고 판단된다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 다양한 연구가 진행되어 왔다. 예를 들면, 홍상훈외 3인(2003)은 ESA, ERS 영상과 GTOPO-30 DEM을 이용하여 지상기준점을 추출하는 방법을 제시하였다. 특히 레이더 위성 영상을 이용하여 접근이 제한적인 지역 및 기상이나 취득 시간 제약

이 있는 지역에 대한 지상기준점을 취득하여 위성영상의 기하보정에 사용가능성을 보여주었지만, 레이더 위성영상의 해상도와 정확도의 한계로 인해 보다 높은 정확도를 요구하는 항공영상의 지상기준점으로 사용은 어렵다. 최근에는 라이다데이터를 사용하여 지상기준점을 추출하여 영상의 외부표정요소를 추정하는 연구가 일부 수행되었다. 또한 Xiaoye Liu외 3인(2007)은 라이다 데이터로부터 지상기준점을 추출하여 항공사진의 AT를 수행하였다. 아래 그림 1은 각각 GPS측량, LiDAR 데이터, 1:25,000 Vicmap(Victoria's eight fundamental spatial dataset-Australia)에서 산출한 지상기준점을 비교한 표이다.

상기 표에서 보듯이 라이다 데이터에서 추출한 지상기준점은 최대 1.85m 최소 0.24m에 해당하는 정확도를 가지고 있으며, Vicmap에서 추출한 지상기준점은 최대 11.58m 최소 3.56m에 해당하는 정확도를 가지고 있는 것을 볼 때, LiDAR데이터에서 추출한 지상기준점이 비교적 더 정확한 값을 가진다는 것을 알 수 있다.

Xiaoye Liu외 3인(2007)에서 라이다 데이터로부터 지상기준점을 추출하는 진보적인 논문이라고 볼 수 있지만 라이다데이터로부터 지상기준점을 추출하려면 항공영상으로부터 동일한 위치로 쉽게 식별이 가능한 위치를 라이다데이터로부터 찾을 수 있어야 한다. 그러나, 라이다가 제공하는 원시 데이터인 3차원 점의 집합이나 이러한 3차원 점을 격자화해서 생성한 DSM(Digital Surface Model)만을 이용한다면 제공되는 지형에 대한 기하학적 정보만을 가지고 복사학적 정보만이 제공되는 항공영상

Coordinates from GPS survey ( $I_0$ ) (m)		Coordinates from LiDAR- orthorectified image ( $I_1$ ) (m)		Coordinates from Vicmap- orthorectified image ( $I_2$ ) (m)		Position difference (m)	
X	Y	X	Y	X	Y	$ I_1 - I_0 $	$ I_2 - I_0 $
31,761.84	67,258.49	31,762.11	67,258.18	31,759.93	67,262.49	0.41	4.43
28,414.79	69,458.39	28,415.61	69,459.89	28,408.02	69,451.09	1.70	9.96
31,037.51	68,701.59	31,037.87	68,702.45	31,036.01	68,697.75	0.93	4.12
30,929.38	68,945.13	30,929.68	68,945.75	30,929.75	68,941.39	0.69	3.76
30,811.17	69,179.83	30,811.37	69,179.08	30,809.47	69,173.26	0.78	6.78
30,946.31	69,179.32	30,946.86	69,180.80	30,944.89	69,174.17	1.58	5.34
31,079.91	69,164.53	31,079.79	69,165.92	31,078.41	69,160.95	1.40	3.88
31,058.73	68,933.38	31,058.82	68,934.54	31,057.69	68,929.27	1.16	4.24
26,961.03	67,486.52	26,961.47	67,486.66	26,957.27	67,482.76	0.46	5.32
28,207.44	68,641.17	28,207.27	68,641.34	28,200.98	68,639.31	0.24	6.71
29,092.21	71,499.51	29,091.44	71,500.97	29,080.72	71,498.04	1.65	11.58
30,845.77	69,443.33	30,846.16	69,445.14	30,852.78	69,437.85	1.85	8.90
31,114.13	70,633.01	31,114.04	70,631.52	31,110.87	70,629.64	1.49	4.69
31,029.86	70,956.87	31,030.13	70,955.69	31,027.14	70,954.58	1.21	3.56
31,152.02	68,461.31	31,152.28	68,462.69	31,151.08	68,457.58	1.40	3.85
30,147.19	72,033.51	30,147.43	72,031.94	30,136.48	72,035.53	1.59	10.90
31,026.37	68,469.42	31,026.81	68,469.96	31,025.49	68,465.69	0.70	3.83
31,211.47	69,158.06	31,212.29	69,156.86	31,209.59	69,148.07	1.45	10.17
28,396.05	70,296.71	28,396.59	70,295.53	28,389.80	70,287.15	1.30	11.42
25,757.33	67,071.38	25,756.67	67,072.75	25,756.05	67,063.85	1.52	7.64

그림 1. 각 측정방식에 따라 산출된 지상기준점의 정확도 비교

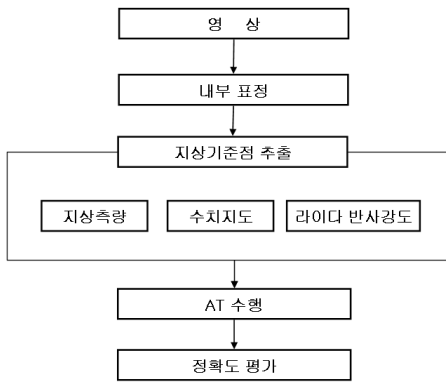


그림 2. 각 측정방식에 따라 산출된 지상기준점의 정확도 비교

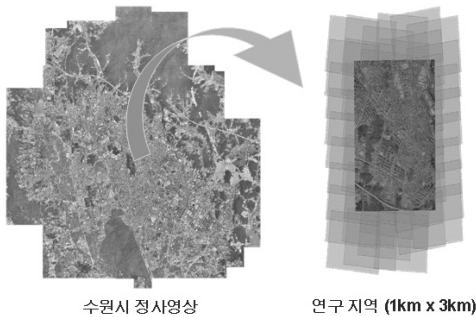


그림 3. 연구 지역

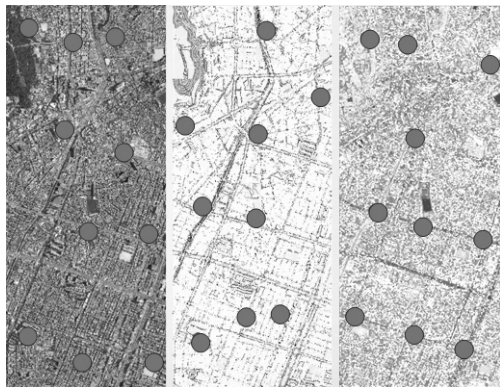


그림 4. 직접측량(좌), 수치지도(중), 반사강도(우) 지상기준점 선정

과 동일한 위치를 파악하는 것이 쉽지 않다. 라이다로부터 제공되는 기하정보 뿐만 아니라 반사강도 데이터를 이용해서 지상기준점을 추출한다면 보다 정확한 지상기준점을 효과적으로 확보할 수 있을 것이라 판단된다. 라이다는 레이저 펄스를 송신하여 대상체 표면에서 반사되어 수신된 신호를 분석하여 반사지점의 3차원 위치 좌표

와 수신된 펄스의 반사강도를 제공한다. 이러한 방식으로 라이다는 지형지물의 표면에서 비교적 균일하게 측정된 조밀한 3차원 점들을 제공하기 때문에 지형지물에 대한 정교한 3차원 모델을 생성하는 것에 탁월한 성능을 보인다. 이러한 지형에 대한 기하학적 정보에 추가하여 개별 반사지점에서 측정된 반사강도를 격자화하여 대상 지역에 대한 레이저 펄스의 파장 대역에 대한 복사학적 정보를 담은 영상을 얻을 수 있다.

## 2. 연구 지역 및 사용 데이터

### 2.1 연구 방법

라이다 반사강도로부터 추출한 지상기준점을 이용한 영상의 AT에 대한 정확도를 평가하기 위한 연구 방법은 그림 2와 같다. 평가를 위하여 중해상도 디지털 카메라로 취득한 영상에 내부표정을 실시하고, 동일한 지역에서 취득한 라이다 반사강도 데이터를 처리하여 DSM 및 반사강도영상을 제작한다. 반사강도는 백색과 회색으로 이루어진 영상이기 때문에 지상기준점 선점시에 지형 및 지물을 구별하기 힘들 수 있다. 때문에 DSM 영상으로부터 정확한 위치를 파악하고 반사강도에서 지상기준점을 추출하여 항공영상의 AT를 수행하였다. 그 다음에, 1:1,000 수치지도로부터 지상기준점을 추출하여 영상의 AT를 수행한 후 그 값을 라이다 반사강도에서 추출한 지상기준점과 비교하였다. AT 결과를 절대적으로 평가하기 위해서 각 지상기준점은 평면기준점으로 설정하였고, 현지측량으로 실측한 지상기준점을 검사점으로 사용하였으며, 반사강도와 수치지도에서 추출한 지상기준점의 정확도를 검사점을 사용하여 RMSE값을 기준으로 비교 평가를 수행하였다.

### 2.2 연구 지역 선정

본 연구에 사용된 영상 및 라이다 데이터를 위한 취득 장비는 ALTM 3070 시스템과 Rollei-AIC 카메라이다. 수원의 도심지 약 1km×3km지역에 대해서 연구를 실시하였다. 본 연구에서 사용된 라이다 데이터는 1m<sup>2</sup> 당 3~4점이며, 디지털 영상의 촬영고도는 약 1370m, 촬영 중 중복도는 약 70%, 횡 중복도는 약 40%이다. 영상의 해상도는 20cm이다. 영상의 촬영은 연구 지역 전체에 대해 2007년 6월 16일에 촬영을 완료 하였으며, 영상 매수는 총 33매이다.

### 2.3 지상기준점 선점

정확도 평가를 위해 현지측량을 통해 10개의 검사점을 취득하였다. 각 영상에서 직접 측량방법으로 취득된 지

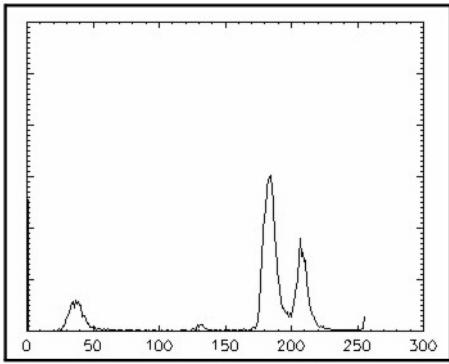


그림 5. 라이다 반사강도 데이터(예시)



그림 7. 라이다 반사강도



그림 6. 라이다 DSM

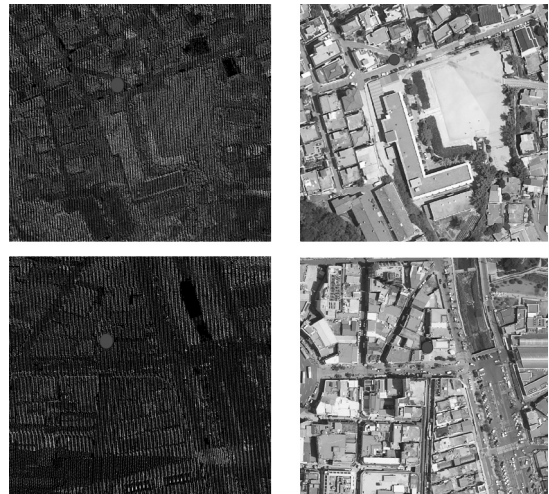


그림 8. 반사 강도로 부터 추출한 지상기준점

상기준점, 수치지도 추출 지상기준점, 라이다 반사강도에서 추출된 지상기준점들의 위치를 그림 4에 표시하였다.

### 3. 데이터 처리

#### 3.1 항공 라이다 데이터 처리

라이다 반사강도는 라이다를 취득할 당시의 고유 속성이다. 하지만 이러한 라이다 반사강도는 반사강도 값의 강약으로만 컬러링이 가능하기 때문에 높이에 의한 건물이나 지표면을 색상별로 구분하기는 쉽지 않다. 그러므로 먼저 높이에 의한 분류가 가능한 항공 LiDAR 데이터에서 지상기준점을 추출하는 과정을 선행하여, 지상의 모든 지형지물이 혼합되어 있는 라이다 원시데이터를 각각 지표면, 식생, 건물로 분류하였다.

#### 3.2 라이다 반사강도로부터 지상기준점 추출

반사강도는 입사된 레이저의 강도와 반사된 레이저의

강도의 비로, 주로 반사체의 반사도에 의해 영향을 받으며, 반사체의 물질적 특성에 따라 고유의 반사도를 가진다. 따라서 지상물의 종류를 구명할 수 있는 중요한 정보가 될 수 있다. 그림 5에서 보듯이 반사강도는 물체에 대한 특정한 반사값을 가진다. 따라서, 토지 피복 분류와 지상기준점을 위한 지표상 건물 추출과 도로 분류 등에 이용된다. 하지만 분류 대상에 적합하지 않은 파장대의 레이저를 사용하면 지상물 간에 분리도가 낮게 나올 수 있다는 단점이 있다. 그림 6은 라이다 분류데이터로부터 지상기준점을 선점한 그림이며, 그림 7은 라이다 데이터로부터 추출한 지상기준점의 위치를 라이다 반사강도 데이터에서 매칭점을 찾아 지상기준점을 추출하였다.

아래 그림 8은 반사 강도로부터 추출한 지상기준점을

**표 1.** 수치지도 및 반사강도에서 추출한 지상기준점 정확도 (단위:m)

지상기준점번호	지상기준점관측 오차거리		비고
	수치지도	반사강도	
01	-		검사점
02	-		검사점
03	-		검사점
04	-		검사점
05	-		검사점
06	-		검사점
07	-		검사점
08	-		검사점
09	-		검사점
10	-		검사점
11	2.767	0.630	지상기준점
12	1.371	0.172	지상기준점
13	0.807	1.054	지상기준점
14	1.684	1.656	지상기준점
15	0.29	1.446	지상기준점
16	0.482	1.304	지상기준점
17	0.716	0.330	지상기준점
18	1.265	1.133	지상기준점
19	0.385	0.603	지상기준점
20	0.445	1.031	지상기준점
평균제곱근오차 X	0.639	0.505	
평균제곱근오차 Y	1.083	0.806	

**표 2.** 수치지도 및 반사강도에서 추출한 지상기준점을 사용한 AT결과값

목록	값	
	수치지도	반사강도
δ값	3.1μm	2.9μm
영상의 평균제곱근오차 (X)	2.1μm	1.9μm
영상의 평균제곱근오차 (Y)	2.5μm	2.3μm

영상과 위치 비교한 그림이다. 지상기준점 선점시 가장 구별이 쉬우면서도 높이 오차가 적은 화단이나 보도블럭 같은 낮은 지물을 지상기준점으로 선점하였으며, 라이다 데이터가 1m<sup>2</sup>당 3~4점인것을 고려하여 최대한 지물의 외각점을 수동으로 판단하여 편집하여 사용하였다.

## 4. 비교 및 분석

### 4.1. 수치지도 및 반사강도를 이용한 AT 결과

AT는 촬영하는 항공기에 GPS수신기를 설치하고 촬영 시 동적 GPS 관측을 실시함으로써 각 노출점의 3차원 좌표를 블록조정에 사용하여 지상기준점의 수를 크게 줄일 수 있는 GPS-번들조정법을 사용하여 수행하였으며 10개의 수치지도 추출 지상기준점과 10개의 직접 측량 지상기준점을 사용하였다. <표 1>을 보면 01번부터 10번까지는 직접 측량한 지상기준점이므로 본 연구에서 수치지도 및 라이다 반사강도에서 추출한 지상기준점과의 비교를 위해서 검사점으로 사용하였으며, 그 값은 AT계산시에는 사용되지 않는다. 11번부터 20번까지는 각 수치지도 및 반사강도에서 추출한 지상기준점이다. 이 점을 AT를 풀때 정확도를 높여줄 지상기준점으로 사용하기 위해서 영상위에 관측한 결과, 아래와 같이 수치지도에서 추출한 지상기준점관측 오차거리의 평균제곱근오차값은 X=0.638m, Y=1.083m이며, 반사강도에서 추출한 지상기준점 관측 오차거리의 평균제곱근오차값은 X=0.505m, Y=0.806m으로 나타남을 알 수 있다

표 2는 표 1의 지상기준점을 사용하여 계산한 AT의 결과이며, 수치지도에서 추출한 오차의 한계값(δ-시그마)이 3.1μm이며, 영상의 평균제곱근 오차(X,Y)의 값이 각각 2.1, 2.5μm임을 알 수 있다 또한 반사강도에서 추출한 오차의 한계값(δ-시그마)은 2.9μm이며, 영상의 평균제곱근 오차(X,Y)의 값이 각각 1.9, 2.3μm임을 알 수 있다. 영상의 해상도가 25cm일 때, 1픽셀의 값은 9μm이다. 그러므로 1μm은 약 2.8cm로 계산되었다. 그러므로 수치지도로부터 AT를 계산한 오차의 실제거리는 X=2.1μm×2.8cm=5.88cm, Y=2.5μm×2.8cm=7cm 정도의 오차값을 가진 것으로 나타난다. 또한 반사강도로부터 AT를 계산한 오차의 실제거리는 X=1.9μm×2.8cm=5.32cm, Y=2.3μm×2.8cm=6.44cm 정도의 오차값을 가진 것으로 나타난다.

### 4.2 비교 및 평가

정량적인 분석을 위해서 수치지도에서 추출한 지상기준점과 라이다 반사강도에서 추출한 지상기준점을 사용해서 각각 AT를 수행하였으며, 그 결과물에 대한 결과값은 아래 표 3와 같다.

그림 9~12는 위의 표 5를 그래프로 표현한 것이다. 라이다 반사강도에서 추출한 지상기준점을 사용하였을 경우에는 평균제곱근X의 오차값이 0.36m, 평균제곱근 Y의 오차값이 0.22m로 나타났으며, 수치지도에서 추출한 지상기준점을 사용하였을 경우에는 평균제곱근X

표 3. AT의 정확도 비교

지상기준점번호	검사점(직접측량) 좌표		반사강도 AT결과			수치지도 AT결과		
	X	Y	X오차	Y오차	XY오차	X오차	Y오차	XY오차
1	201159.66	417577.80	1.06	-0.25	1.09	1.16	-0.21	1.18
2	201563.82	417378.73	0.20	-0.96	0.98	-0.08	-1.04	1.04
3	202128.39	417394.27	0.45	0.40	0.61	0.54	0.50	0.73
4	201507.70	419817.53	-0.86	0.10	0.86	-0.87	0.33	0.93
5	201822.30	419846.75	-1.11	0.40	1.18	-1.16	0.21	1.18
6	201434.65	419131.52	-0.75	-0.86	1.14	-0.62	-1.00	1.18
7	201888.40	418965.25	-0.35	-1.06	1.11	-0.46	-1.08	1.17
8	201625.79	418364.31	-0.80	-0.60	1.01	-0.83	-0.66	1.06
9	202099.97	418363.61	-1.11	-0.60	1.26	-1.12	-0.83	1.40
10	201172.60	419922.83	-0.30	-0.91	0.95	0.17	-1.41	1.42
평균제공근 X오차			0.36			0.40		
평균제공근 Y오차			0.22			0.46		
평균 XY오차			1.02			1.13		

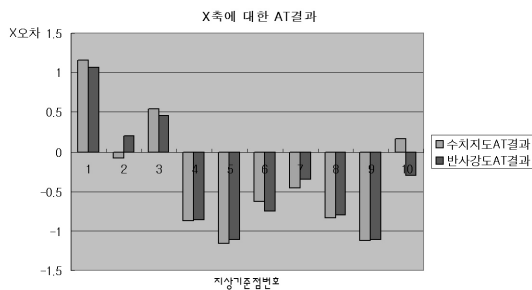


그림 9. X축에 대한 AT결과

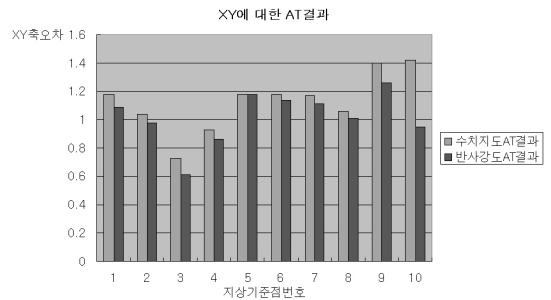


그림 11. XY축에 대한 AT결과

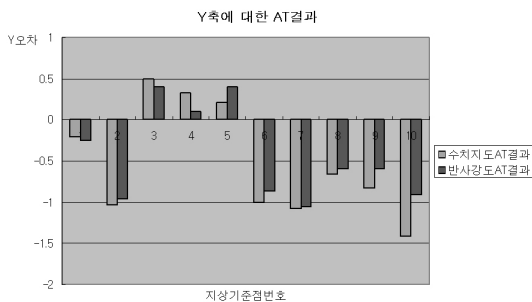


그림 10. Y축에 대한 AT결과

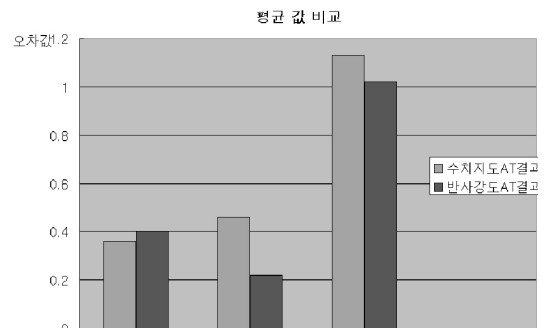


그림 12. 수치지도AT와 반사강도AT의 평균값 비교

의 오차값이 0.4m, 평균제공근Y의 오차값이 0.46m로 산출되었다. 또한 라이다 반사강도의 평균오차는 1.02m, 수치지도의 평균오차는 1.13m로 산출되었다. 라이다 반사강도에서 추출한 지상기준점을 사용하여 AT를 산출하는

것이 수치지도에서 추출한 지상기준점을 사용하여 AT를 계산하고 정사영상을 생성한 것과 정확도 면에서 더욱 정확할 수 있다는 것을 증명하고 있다.

## 5. 결 론

현재 AT를 위해 사용되는 지상기준점은 평면과 수준으로 구분하여 실시하며, GPS나 토탈 스테이션 등, 직접 측량방법을 통해 취득하거나 수치지도 등 간접측량방법을 사용하여 효율적으로 3차원 좌표를 취득하기도 한다. 하지만 산악 및 도서 지역과 같은 접근불능지역이나 넓은 평야나 사막, 갯벌 등 측량이 어려운 지역에 대하여 지상기준점을 추출하기가 용이하지 않다. 본 연구에서는 라이다 반사강도를 이용하여 추출된 지상기준점을 사용하여 AT를 수행한 후 수치지도에서 추출한 지상기준점을 사용하여 수행한 결과를 현지측량한 지상기준점과 비교, 평가하였다.

1. 라이다 반사강도로부터 가장 구별이 쉬우면서도 높이 오차가 적은 화단이나 보도블럭과 같은 낮은 지물을 지상기준점으로 선정하여, AT를 수행하여 검사점과의 차이를 비교하였다. 그 결과, X좌표의 평균 제곱근오차는 36cm, Y좌표의 평균제곱근오차는 22cm, 평균 XY오차는 1.02m이었다.

2. 수치지도에서 추출한 지상기준점을 사용하여 AT를 수행하였을 경우 X좌표의 평균제곱근오차는 40cm, Y좌표의 평균 오차는 46cm, 평균 XY오차는 1.13m이었다.

3. 라이다 반사강도에서 추출한 지상기준점을 사용한 AT를 수행한 결과와 수치지도에서 추출한 지상기준점을 사용하여 AT를 수행한 결과를 비교해 보면, 각각 XY좌표의 평균오차는 1.02m와 1.13m이었다. 이 결과로부터 정량적인 정확도면에서는 라이다 반사강도에서 추출한 지상기준점을 사용하였을 경우가 수치지도에서 추출한 지상기준점을 사용한 경우보다 약 0.11m 향상되었다.

4. 라이다 반사강도에서 추출한 지상기준점을 이용한

는 방법이 수치지도에서 추출한 지상기준점을 이용하는 방법에 비하여 정확도가 크게 향상되지는 못했지만 결과값의 차이가 약 0.11m차이로 수치지도에서 추출한 지상기준점을 이용한 정확도와 매우 유사한 결과를 나타내므로 기존의 방법의 적용이 곤란한 지역, 예를 들면 산간, 도서 지역 등의 경우에 식별이 가능한 지점이 있다면 라이다 반사강도를 이용한 지상 기준점을 이용하는 방법이 효용성이 있음을 알려준다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, 2007, 수치표고자료 및 정사영상지도 구축사업 보고서.
2. 김용석, 김성철, 2008, LiDAR 데이터를 이용한 지형지물의 위치정확도 분석, 한국콘텐츠학회논문지 '08 Vol. 8 No. 3, pp. 272.
3. 김정기, 엄기문, 이래희, 박래홍, 1992, GCP 측량 불가능 지역의 SPOT 위성 모델링에 관한 연구, 1992, pp. 226-231
4. 조규전, gottiried Konecny, 2005, 공간정보공학 Geoinformation, p. 21, p.152.
5. 송연경, 2005, 외부표정요소 직접결정에 의한 수치정사영상 생성, 한국GIS학회지, 제13권, 제1호, pp. 56-58
6. 위광재, 김은영, 윤홍식, 강인구, 2007, 멀티센서 데이터를 이용한 건물의 3차원 모델링 기법 개발 및 평가, 한국측량학회지, 제25권 제1호, pp. 2-6
7. 홍상훈, 정형섭, 이호남, 원중선, 2003, 영상 레이더를 이용한 지상기준점 추출, pp. 115-120
8. 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
9. Lee, I., Kim, S. J., Choi, Y. (2005). Surface-based Geometric Registration of Aerial Images and LIDAR Data, pp. 35-42.