

# 항공 레이저 측량 데이터를 이용한 지반 고 추출 기법에 관한 연구

## A Study for Sampling the Ground Height using Airborne Laser Scanning Data

김은영\* · 김승용\*\* · 이강원\*\*\*,1)

Kim, Eun Young · Kim, Seong Yong · Lee, Kang Wón

### 1. 서론

측량 기술의 발달로 최근 등장한 3차원 레이저 스캐닝 기술은 건설 설계 분야에까지 영역을 넓히고 있다. 이러한 항공 LiDAR (Light Detection and Ranging)는 항공기에 장착된 레이저 멀티 센서에 의해 지상에 발사되어 되돌아오는 시간을 측정하여 그 지점의 3차원 정보를 고 정밀로 획득한다. 기존의 지상 측량 및 항공 측량을 통한 수치지형도는 시대가 요구하는 3차원 공간적인 분석을 구현하는데 한계가 있었다. 그러나 항공 LiDAR 측량 기술은 짧은 시간에 넓은 지역의 3차원 지형 데이터를 효과적으로 취득 할 뿐 아니라, 우수한 투과율로 식생과 산지 지형 고도 값을 정확하게 파악할 수 있어 건설 설계분야에 지능적으로 데이터를 활용할 수 있다. 따라서 도로 설계분야에서 정밀 지반 고의 연속된 자료를 통해 정확하고 다양한 분석을 함으로써, 건설 설계 분야를 진일보 시킬 것으로 기대된다.

### 2. 종래 기술의 한계

도로 설계에 있어서 종래의 지반 고 추출 기술은 수치지형도의 등고선 높이 값을 추출하여 적용하는 방법이었다. 항공사진 측량에 의해 얻어지는 영상을 중첩하여 산지는 수목높이 값을 무시하고 같은 높이 값을 연결하여 등고선을 그리거나, 일괄적으로 평균 수목높이 값을 감하여 주었다. 또한, 도심지는 랜덤하게 지형 고도 값을 표고점으로 표시하게 된다. 이와 같이 수치지형도를 이용하여 지반 고를 추출하는 것은 등고선이 있는 산지에 국한되어 있고 낮은 정확도의 데이터를 얻는 한계를 갖고 있다. 축척별 수치지형도의 수직, 수평 정확도는 아래와 같다.

표 1. 수치지형도의 축척별 오차 허용범위

도화축척	표준편차			최대오차		
	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

수치지형도는 축척별로 등고선의 오차가 60cm에서 5m 의 허용치를 가지고 제작하도록 되어 있다. 본 연구에서는 이러한 수치지형도가 가지고 있는 오차를 현지 GPS측량 데이터와 비교하고, 항공 레이저 측량 데이터와 비교함으로써, 정확도를 확인하였다

또한, 수치지형도를 통해 얻어진 지반 고 점 데이터와 항공 레이저 측량 데이터의 점 밀도를 비교함으로써

\* 한진정보통신(주) GIS 사업부문 사원 · 공학석사 · 02-2166-7436(E-mail:eykim00@hst.co.kr)  
 \*\* 한진정보통신(주) GIS 사업부문 차장 · 공학박사 · 02-2166-7423(E-mail:svkim00@hst.co.kr)  
 \*\*\* 한진정보통신(주) GIS 사업부문 상무 · 공학박사 · 02-2166-7423(E-mail:kwlee@hst.co.kr)



써, 종래 기술의 한계점을 분석하였다. 수치지형도 등고선의 간격은 곧 점 밀도가 된다. 아래 표는 축척별 등고선의 간격을 보여주고 있다.

표 2. 수치지형도의 축척별 등고선 간격

축척	주곡선	계곡선	간곡선
1/1,000	1m	5m	0.5m
1/5,000	5m	25m	2.5m
1/25,000	10m	50m	5.0m

1/5000은 등고선 간격이 5m이고, 1/1000은 1m이다. 등고선으로부터 표고 값을 추출하여 확인하면 그림 1과 같이 등고선을 따라 점들이 표현된다. 이러한 저밀도의 불규칙한 표고 값들을 도로설계에 적용하면 등고선의 간격에 발생하는 빈 공간은 정확하지 않은 보간 된 표고 값들이 발생하게 된다. 또한, 수치지도는 등고선 외의 하천이나, 도로, 기타 시설물에 대한 표고 값을 알 수 없기 때문에 도로설계에 적용하기에 많은 한계를 가지고 있다. 이와 달리 항공 레이저 측량 데이터는 보통 1000m 고도에서 비행하여, 5~6 points/m<sup>2</sup>의 점 데이터를 취득한다. 이것은 30cm 간격의 점 데이터로 하천, 도로는 물론 식생과 지상 구조물의 모든 표고 값을 표현한다.

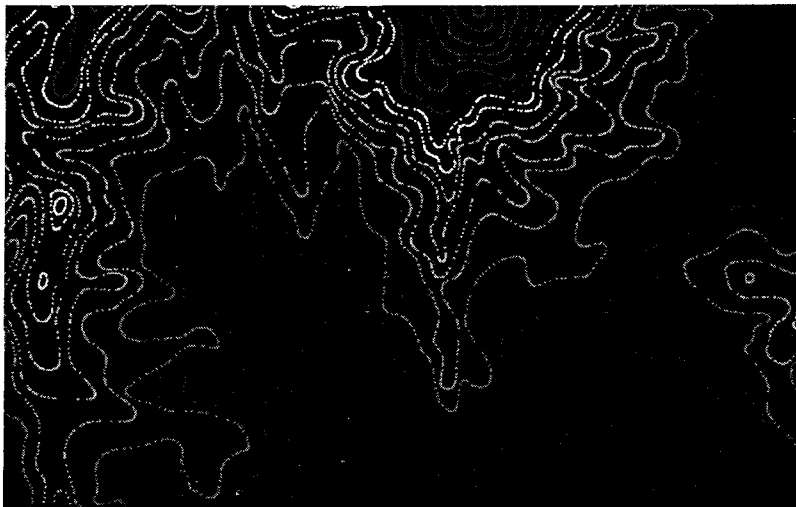


그림 1. 1/5000 수치지형도에서 추출된 점 데이터(등고선)

작업과정에서 비교하면 종래 작업은 복잡하고 많은 공정을 요구하며, 고비용과 많은 인력으로 작업기간도 길다. 또한 제한된 성과물 제작으로 활용도에 한계가 있으며, 접근이 어려운 지역은 측량이 어렵다. 반면, 항공 라이다 측량은 GPS/INS와 레이저 데이터 간 통합 처리 후, 자동화로 신속한 종단면도 획득이 가능하다. 또한 지반 고에 해당하는 지형 데이터 분류와 정밀 등고선 제작이 쉽게 이루어진다.

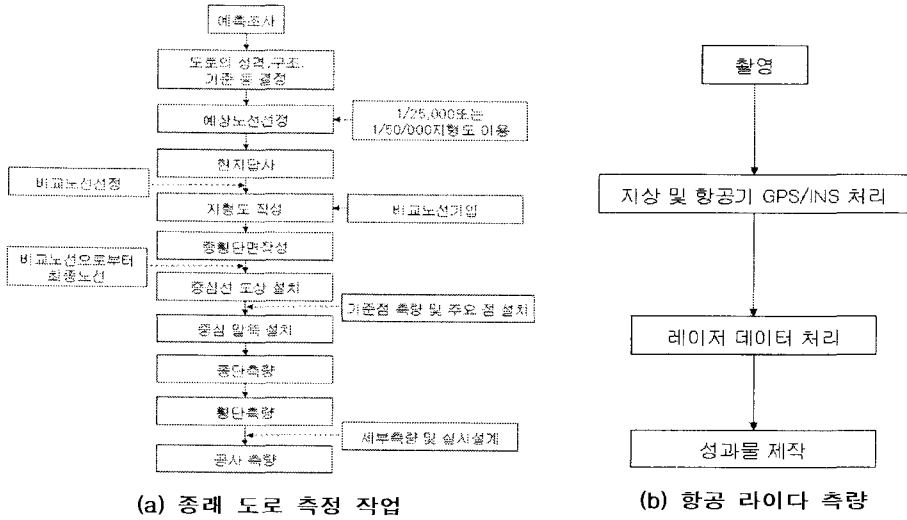


그림 2. 작업 공정 비교

표 3. 항공 측량 방법 비교

작업 방법	항공사진측량	항공 라이다(LiDAR) 측량
작업 기간	7개월	2개월
비용	6억	1억
성과물	1/1,000 수치지도	DEM, DSM, 정시영상 반사강도지도, 중단도, 횡단도, 정밀등고선도, 음영기록도, 유역경사도, 경사방향도 분석 등
정확도	(1/5000축척)지도정확도 수평 : 80cm 수직 : 2.5m(등고선)	(고도1200일 때) 수평 : 60cm이하 수직 : 15cm이하
장점	-벡터지도 제작가능 -현행설계기준	-단시간 대용량 데이터 취득 -고 정밀, 높은 정확도 -데이터 처리의 자동화 -작업 시간이 짧다 -다양한 데이터의 활용성 -3차원 시각화
단점	-비용이 비싸다 -작업 기간이 길다 -접근 불가능 지역 작업 곤란	

\*노선측량 50km 인 경우

### 3. 항공 레이저 측량 기술의 개념 및 취득 데이터 처리

#### 3.1 항공 레이저 측량 기술

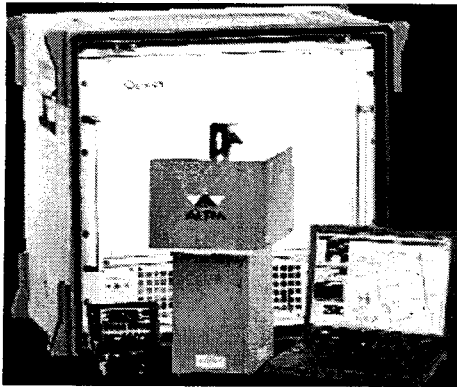
항공 레이저 측량(LiDAR)<sup>2)</sup>의 주된 목적은 단시간 내에 넓은 지역의 대상물에 대한 3차원 좌표 정보를



취득하여, 고밀도의 수치표고자료(Digital Elevation Model)을 제작하는 것이다.

LiDAR는 매우 작은 순간 시야각 IFOV(Instantaneous Field of View)을 가진 강력한 레이저를 방사하여 지점에서 반사되어 레이저가 스캐너에 도달할 때까지의 시간을 관측하고 그 값에 빛의 속도를 곱하여 거리를 계산하여 정밀한 표고 관측을 한다. 방사되는 레이저는 멀티 센서로 70kHz의 레이저 주사율을 갖고 있고 하나의 레이저 펄스에서 총 4개의 멀티 반사정보를 포함하고 있다. 이러한 장점으로 산림 지역과 같은 나무들이 우거진 지역에서 나무의 높이와 지형의 높이를 정확하게 측량 할 수 있다.

본 연구에서는 2004년에 캐나다 Optech사로부터 도입한 ALTM3070/DC 장비를 사용하였고, 장비의 사양은 다음과 같다.

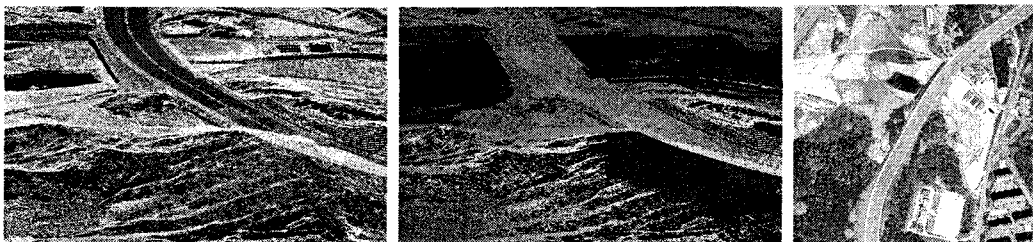


항목	세부사항
측량고도 범위	200 ~ 3000m
평면 정확도	1/2000 X 고도(1σ)
높이 정확도	< 15cm at 1200m(1σ) < 25cm at 2000m(1σ) < 35cm at 3000m(1σ)
반사파 감지력	last pulse를 포함한 4 개의 반사파
스캔 주기(rate)	최고 70Hz
주사폭	(0 ~ 0.93) × 비행고도
레이저의 초당 주사율(PRF)	33kHz(최고 비행고도가 3km 이내) 50kHz(최고 비행고도가 2km 이내) 70kHz(최고 비행고도가 1.5km 이내)

그림 3. 항공 레이저 측량 장비 사진 및 사양

### 3.2 취득된 데이터 처리

레이저 멀티 센서 데이터는 4개의 First, Second, Third, Last 펄스를 갖는다. 이 중에서 First와 Last 펄스가 약 95%로 대부분의 데이터를 포함한다. 이러한 3차원 레이저 점 데이터는 불규칙하게 특성에 대한 구분 없이 위치정보만 갖고 있다. 따라서 특별로 지형, 식생, 건물, 도로 등을 분류해야한다. 원칙적으로 가장 낮은 데이터부터 분류하게 된다. 본 연구에서는 도로설계 중 지반 고에 해당하는 지형 데이터를 분류하여 3차원 모델을 만들고 수치지형도 및 현장 GPS측량 데이터와 정확도 검증을 하였다.



(a) 반사강도

(b) DSM

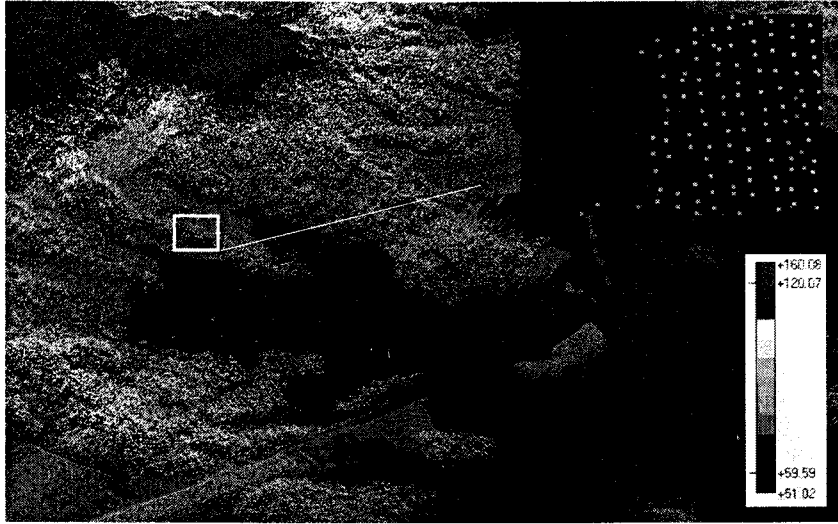
(c) 정사영상

그림 4. 취득된 라이다 데이터

취득된 데이터는 위의 그림과 같이 반사되는 물체의 특성에 따라 반사되는 레이저 강도가 다르기 때문에 각각의 반사강도 값을 갖는다. (a)의 그림에서 도로와 산지의 반사강도 값이 차이를 확인할 수 있다. 이것은 원하는 지상 물체만을 분석하는데 도움이 될 것이다. (b)는 취득된 모든 레이저 점 데이터를 고도에 따라 분



것이며, (c)는 반상으로 취득된 디지털 영상을 정사영상으로 제작한 것이다. 본 제작된 정사영상은 30cm 의 해상도를 갖는다. 연구대상지역의 디지털 정사영상과 인터넷 Google Earth에서 서비스 중인 영상을 비교하면 그 정밀도를 확인할 수 있다.



GPS Time	Last 펄스				First 펄스			
	X	Y	Z	Intensity	X	Y	Z	Intensity
532059.412484	231121.86	321678.11	96.88	46.0	231121.86	321678.11	96.88	46.0
532059.412498	231121.76	321678.86	96.97	28.0	231121.42	321679.74	101.55	14.0
532059.412512	231121.64	321679.74	97.14	43.0	231121.64	321679.74	97.14	43.0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

그림 5. 취득된 연구지역의 고도별 점 데이터



(a) 구글(google)영상

(b) 항공 디지털 카메라영상

그림 6. 구글 영상과 디지털카메라영상 비교

취득된 레이저 데이터는 위와 같이 펄스별로 3차원 위치정보만을 가지고 있다<sup>1)</sup>. 도로 설계를 위해 적용할 지반 고 데이터는 지형(ground)을 의미한다. 반복되는 파라미터에 의해 지형데이터는 분류하게 된다. 먼저, 지형 데이터



분류를 위해 연구 지역에서 가장 낮은 점들을 추출한다. 이것은 Low points로 정의하며, 지형 데이터보다 낮은 점들로 에러 포인트에 해당한다. 이것이 지형 데이터 분류하는 기준으로 초기 포인트가 된다. 초기 포인트에 이웃하는 점들을 반복 파라미터에 의해 설정된 사각 윈도우 내에서 최저점들을 찾아간다. 이때, 적용되는 주된 파라미터는 최대 윈도우 크기(Max building size)와 각(Angle)이다. 첫 번째로, 설정되는 윈도우 크기는 데이터에 존재하는 건물의 최대 크기로, 최소한 그 윈도우 내에는 건물이 존재하지 않는다. 그러한 윈도우가 반복적으로 이동하면서 최저점들이 지형 데이터에 저장된다. 만약, 특별히 큰 건물이 존재하고, 나머지 건물들의 크기가 비슷하다면, 특히 큰 건물을 먼저 수동(manual 방식)으로 분류한 후, 그 다음 크기의 건물을 최대 윈도우 크기로 설정한다.

두 번째로, 초기 데이터에 의해 생성된 삼각 모델(Triangulated model)에 새로운 포인트들이 추가되면서 지형 모델을 형성해 가는 것이다. 이때 만족해야하는 조건이 반복 처리되는 각(Angle)이다. 초기 포인트에 의해 형성된 삼각면과 선으로 연결 가능한 근접한 포인트와의 각이 만족되면 지형 데이터에 저장된다. 급한 경사의 지형일 경우, 지형 데이터가 추출 되지 않을 수 있다. 이때, 반복되는 각을 조금 작게 하여 실행하면 쉽게 추출된다. 또한 지형과 크게 차이 나지 않는 낮은 건물은 알고리즘에 의해 지형으로 추출될 수도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 추가적으로 거리(Distance)를 파라미터로 고려할 수 있다. 그림 7과 같이 포인트와 삼각면 사이의 거리를 지정하면 포인트가 많은 단독 건물에 대해서 지형을 안전하게 분류해 낼 수 있다.

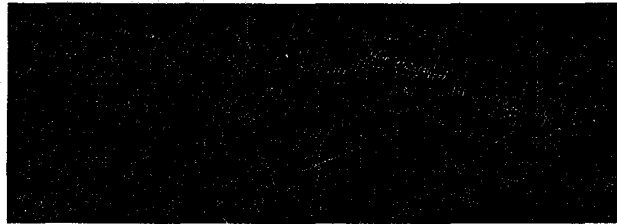


그림 7. 지형 데이터 분류 파라미터

그림 8과 같이 주황색 점들이 분류된 지형 데이터이다. 이것으로 Surface 모델을 제작하면 정밀한 지반 고를 얻게 된다. 사용자 요구에 따라 격자형 지반 고 데이터를 제작할 수 있다. 이러한 정확한 지반 고 모델로부터 기존 도로를 따라 횡 단면도를 빠르게 추출할 수 있다. 또한, 설계할 지형을 따라 정밀 등고선 및 종횡단 설계를 가능하게 한다.

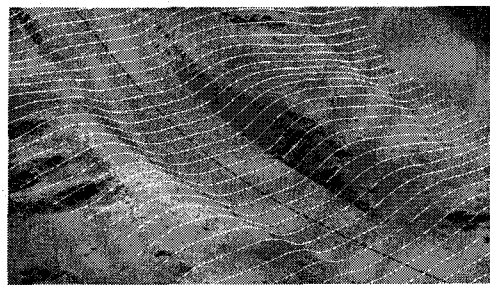
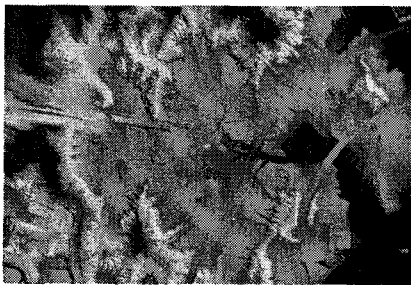


그림 8. 분류된 지형데이터와 TIN 모델



### 3.3 지형 데이터의 정확도 검사

분류된 지형 데이터의 확인을 위해 TIN 모델을 생성하고 현지 측량한 GPS 데이터와 정확도 검사를 실시하였다. GPS측량 데이터는 총 31개 점으로 라이다 데이터와 중첩해서 가장 가까운 점을 찾아 높이 차를 구했다.

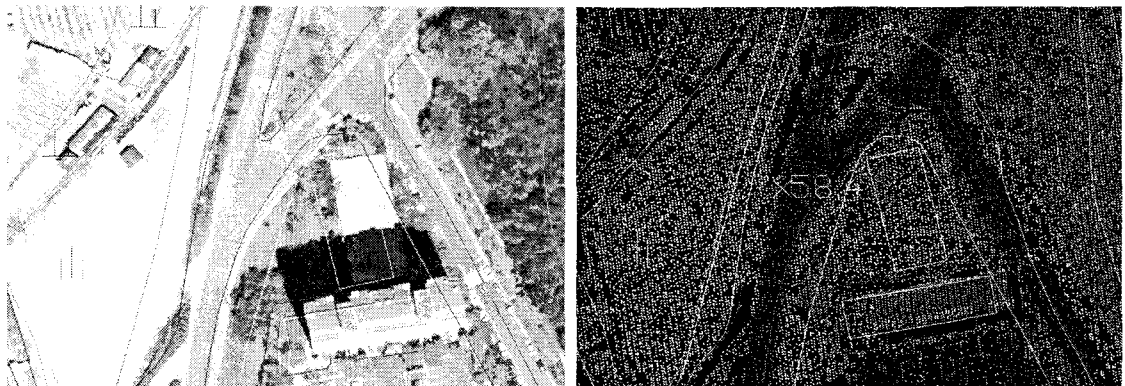
표 4. 현지 GPS 측량점과 라이다 데이터 검사

번호	현지 GPS 측량 점			라이다 점				번호	현지 GPS 측량 점			라이다 점							
	X (Easting)	Y (Northing)	Z (정표고)	Laser Z	Dz	Dz	( Dz ) <sup>2</sup>		X (Easting)	Y (Northing)	Z (정표고)	Laser Z	Dz	Dz	( Dz ) <sup>2</sup>				
1	238064.508	320380.639	82.246	82.310	0.062	0.062	0.003844	21	257867.697	325954.758	47.396	47.260	-0.056	0.056	0.003136				
3	224823.315	325484.584	36.683	37.320	0.437	0.437	0.190969	23	236390.223	325856.477	51.638	51.690	-0.052	0.052	0.002704				
4	226961.104	323829.111	68.575	68.809	0.225	0.225	0.050625	24	238063.962	323851.637	53.110	52.690	-0.220	0.220	0.0484				
6	229207.766	321026.778	75.901	76.100	0.199	0.199	0.039601	25	238181.758	320690.650	78.987	79.820	-0.067	0.067	0.004489				
7	230922.955	318606.910	49.368	49.510	0.142	0.142	0.020164	31	237999.521	321067.345	78.759	78.680	-0.079	0.079	0.006241				
8	226779.167	318396.773	80.207	80.420	0.213	0.213	0.045369	32	258826.727	317890.407	42.015	41.950	-0.065	0.065	0.004225				
9	228099.614	315161.457	68.785	68.790	0.005	0.005	2.9E-05	33	254391.103	317807.812	44.314	44.310	-0.004	0.004	1.6E-05				
10	229204.810	312611.197	65.247	65.380	0.113	0.113	0.012769	34	231958.962	320852.691	49.431	49.490	-0.049	0.049	0.002401				
12	231141.963	311560.703	75.313	75.350	0.037	0.037	0.001369	35	235548.224	321445.613	51.577	51.560	-0.017	0.017	0.000289				
13	230348.807	314336.217	78.086	78.260	0.194	0.194	0.037336	36	236312.916	322630.763	35.358	35.460	-0.104	0.104	0.010816				
14	230046.382	316814.237	55.532	55.580	0.048	0.048	0.002304	37	234764.560	312935.438	48.372	48.330	-0.042	0.042	0.001764				
15	233301.901	313546.150	82.899	82.720	-0.179	0.179	0.032041	38	236978.902	313996.148	53.219	53.380	-0.161	0.161	0.025921				
16	230695.184	320372.533	62.176	62.050	-0.128	0.128	0.016384	39	235807.045	315188.197	47.262	47.260	-0.002	0.002	4E-06				
17	231971.046	309231.191	59.554	59.620	0.066	0.066	0.004356	40	232651.374	315930.660	86.882	86.790	-0.152	0.152	0.023104				
18	237989.023	322379.630	51.072	51.170	0.098	0.098	0.009604	41	250954.714	318440.084	47.364	47.360	-0.004	0.004	1.6E-05				
19	237639.124	324398.548	60.073	59.960	-0.113	0.113	0.012769	<b>RMS (root mean square)</b>											
														<b>0.141</b>					

항공 라이다 데이터는 불규칙한 점의 배열이므로 GPS 측량한 점과 정확히 같은 위치 일 수는 없으나, 수 센티 이내로 가까운 라이다 점을 찾아 고도 차이를 구한결과 평균 14cm 의 높은 정확도를 얻었다. 따라서 이러한 항공 라이다 데이터로부터 분류된 지형 데이터는 도로 설계를 위한 정확한 데이터임을 확인하였다.

### 4. 항공 레이저 데이터와 벡터 지형도 비교

항공 라이다 측량으로 인해 취득된 레이저 데이터의 검증까지 확인하였다. 기존에 항공사진 측량 방법으로 제작된 벡터 데이터와 중첩 비교함으로써, 수평 수직 오차를 분석하였다.



(a) 수치지도와 정사영상

(b) 수치지도와 라이다(반사강도)

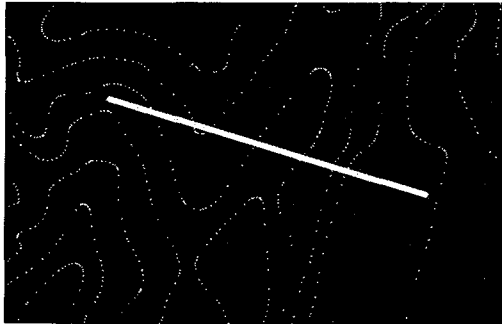
그림 9. 정면에서 수치지도와 라이다의 중첩

준비된 1/5000 수치지도와 정사영상을 중첩하여 정면에서 보면 도로와 건물의 수평위치가 다른 것을 볼 수 있다. 측정결과, 대략 도로에서 3m, 건물에서 4m 수평 오차가 났다. 라이다의 DEM으로 제작된 정사영상의 경우도 마찬가지로 수평위치 오차가 발생하였다.

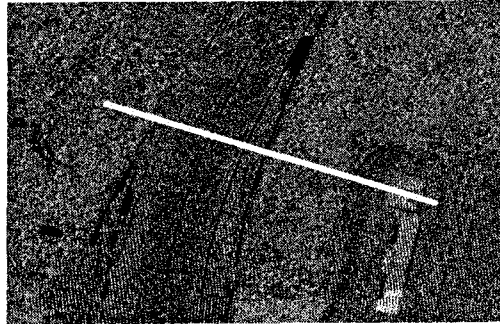
다음으로 수직오차 확인을 위해, 1/5000 수치지형도로부터 등고선의 점 데이터를 추출하였다. 5m 간격의 등고선은 그림과 같이 포인트 정밀도가 매우 낮다. 지형이 분류된 라이다 데이터는 절대 고도 2m 이상을 식



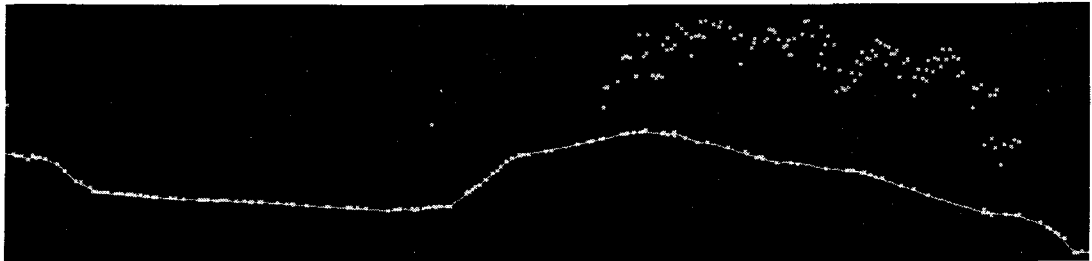
생 또는 건물로 가정하고 높이에 따라 분류하였다. 주황색이 지형 데이터이고 녹색이 식생, 노란색이 건물 데이터이다.



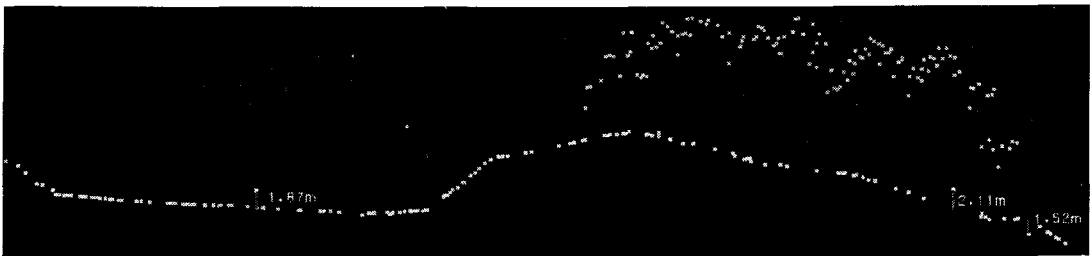
(a) 1/5000 수치지도 등고선 포인트



(b) 분류된 라이다 포인트(지형, 식생)



(c) 라이다 지형 데이터 단면도



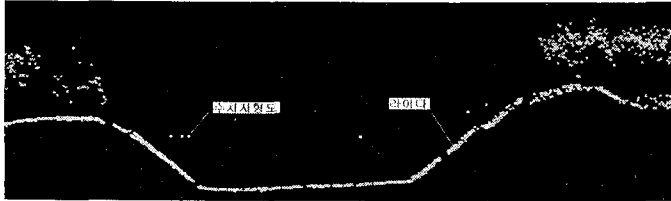
(d) 수치지도 점과 라이다 지형 점 간 높이 차이

그림 10. 라이다와 수치지도 데이터의 횡단면도

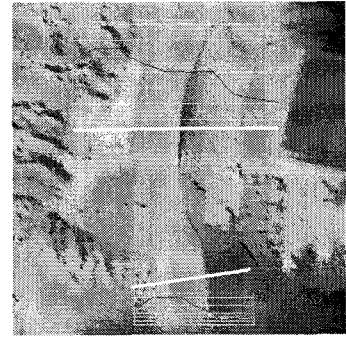
위의 그림과 같이 수치지도의 등고선 점 데이터와 오차 거리를 측정한 결과 최대 3~4m 까지 차이가 났다. 더 확실한 데이터 비교를 위해 수치지도 점 데이터로 만든 Surface 모델과 라이다 지형 데이터로 만든 Surface 모델을 중첩한 후, 고도 차이를 표시하였다. 그림 11에서 보는 바와 같이 파란색은 라이다 지형이 높은 것이고, 빨간색은 수치지형도 고도가 높은 것이다. 특히, 도로에서 차이가 많이 나는 것을 볼 수 있다. 또한, 산지의 굴곡이 심한 지형에서도 수치지도는 높게 나왔다.

그림에서 보는 바와 같이 수치지도의 등고선은 식생의 높이 값을 고려하지 않았으므로 실제 지형과의 차이가 나며, 도로와 같은 경우는 랜덤한 표고 값 표현으로 모델을 각각 만들어 비교 한 결과 표고차가 더욱 두드러지는 것을 확인하였다.





(a) 수치지형도와 라이다 점데이터 비교



(b) 횡단면도(주황색:라이다, 빨간색:수치지도)



(c) 수치지형도 모델과 라이다 모델 비교

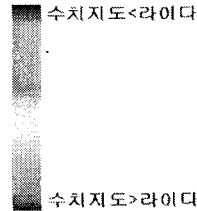


그림 11. 라이다와 수치지형도의 단면도

특히 수치지도는 등고선에만 표고 값이 부여되어 있어 설계 시 필요한 전·담·하천·제방·도로 등에 대한 지반 고 결정이 불가능하고 도화파일은 등고선뿐만 아니고 건축물 등 모든 지상 구조물에도 표고 값이 부여되어 있어 지상 구조물이 있는 곳은 지반 고 결정이 곤란하여 수치지도 또는 도화 파일 자체만으로는 토목설계가 불가능한 실정이다. 따라서 토목설계를 위하여 건물·담장·전주 등 지상 구조물에 대한 표고 값을 제거하여 지상구조물과 중첩된 부분의 지반 고 결정이 가능한 항공 레이저 데이터의 필요성은 커질 것으로 사료된다. 또한, 임야지역에 대한 오차를 해소하기 위한 레이저 데이터의 활용은 정확한 절·성토량 산출 및 등고선 제작으로 신속하고 정확한 설계를 가능케 할 것이다.<sup>3)</sup>

또한, 백터지도 중 지적도를 라이다 데이터에 중첩해 보았다. 지적도는 건축물을 짓거나 인접토지와 의 경계나 해당 토지의 형태, 면적 등을 확인하는데 사용된다. 취득된 레이저 데이터의 3차원 모델로부터 3차원 지적도 작성의 활용으로 지반 고는 물론, 기타 지형지물까지도 파악을 가능케 한다.

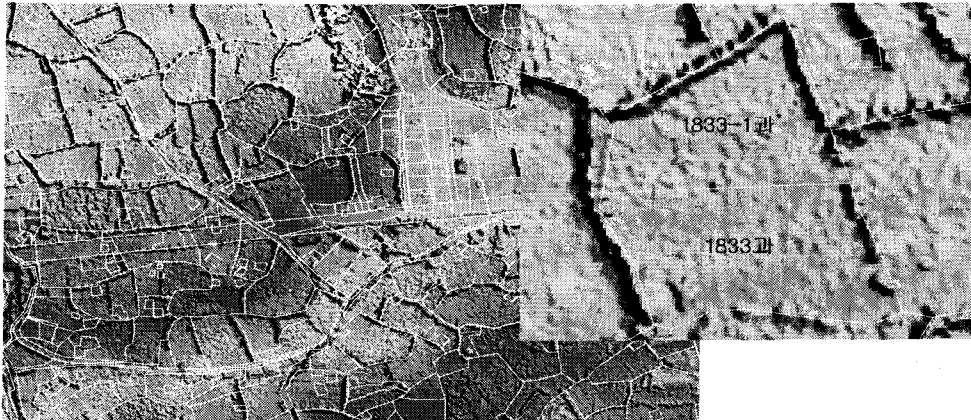


그림 12. 라이다와 지적도 중첩

## 5. 결론

본 논문은 항공 레이저 측량 기술을 이용하여 도로설계를 위한 지반 고 추출을 위해 일정 대상지역을 선정하여 실시하였다. 취득된 레이저 데이터와 디지털 영상은 현지 GPS측량 데이터를 이용하여 정확도 검증을 실시하였고, 지반 고에 해당하는 지형 데이터를 분류하였다. 그 결과, 수직 15cm, 수평 60cm 이하의 높은 정확도를 보였다. 기존의 벡터 자료인 수치지형도의 중첩을 통해 한계와 문제점을 제시하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 항공 레이저 데이터의 정확도 검증으로 정확하고 밀집도 높은 지반 고를 추출함으로 도로설계를 위한 데이터 활용이 가능할 것으로 판단된다.
2. 항공 라이다 측량 시 동시에 취득되는 30cm 해상도의 디지털 영상은 시각적 효과를 극대화함으로써 3차원 모델제작을 지능적으로 가능케 할 것으로 판단된다.
3. 기존의 수치지형도는 등고선의 표고 값만을 가지고 있으므로 한계점을 드러냈다. 전·답·하천·제방·도로 등은 표고 값이 없고, 산림지역은 정확한 지형의 지반 고 추출이 불가능했다. 이러한 문제점들은 항공 레이저 데이터에서 효과적으로 제공함으로 해결 될 것으로 판단된다.
4. 항공 사진측량에 비해 항공 라이다 측량이 정확도는 물론, 경제성을 극대화 시키고 다양한 성과물을 산출할 수 있다는 장점은 데이터의 디지털화로 과거의 데이터와 중첩분석으로 변화 연구를 가능케 할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단을 통하여 지원된 건설교통부 건설핵심기술연구사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 김은영, 항공기 멀티센서 데이터를 이용한 도시지역 건물의 3차원 모델링 방안 연구, 한국측량학회, 2005
2. 위광재, 시스템 초기화(Calibration)에 따른 항공레이저측량의 정확도 평가, 한국측량학회 춘계학술발표회 논문집, 2004
3. Waheed Uddin, Evaluation of Airborne LIDAR Digital Terrain Mapping for Highway Corridor Planning and Design, 2002