

항공 레이저 매핑 시스템에 의한 DTM 생성의 정확도 분석 Accuracy Assessment of DTM by Airborne Laser Mapping System

김영배* · 서정현** · 임삼성***

Kim, YoungBae · Seo, JungHun · Lim, Samsung

요 旨

본 연구에서는 항공 레이저 매핑 시스템(Airborne Laser Mapping System, ALMS)에 의해 생성된 DTM의 정확도 분석을 위해 500 m 간격으로 측정지역을 선정하고 GPS 측량을 통한 다양한 검증방법으로 DTM의 정확도를 분석하였다. ALMS에 의한 DTM의 각 점 사이의 고도값 추정을 위해 TIN을 제작하였고, GPS를 이용한 측정점들의 커버리지를 제작하여 TIN과 중첩하는 방법으로 정확도를 분석하였다. ALMS에 의한 DTM의 고도값 정확도는 기존의 수치표고모델 제작방법보다 높은 것으로 확인되어 1/5000 이상의 수치표고 제작에 ALMS를 적용할 수 있는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

For the accuracy assessment of DTM obtained by Airborne Laser Mapping Systems (ALMS), we selected 500 m spaced test points and analyze the accuracy of the DTM by various methods including GPS survey. To estimate the height at the point in between the test points of the DTM we produced a TIN, and to analyze the accuracy we use a GPS coverage map overlaid with the TIN. Compared with the existing method, DTM by ALMS is shown to be relatively accurate, and therefore, ALMS is applicable to 1/5000 digital terrain mapping.

1. 서 론

컴퓨터와 전자기술의 발달에 힘입어 각종 사회활동에서 다루어지고 있는 정보처리의 기술도 다양화 및 고도화되고 있으며, 이러한 기술들은 최근 정보화 사회의 도래에 따라 폭주하는 정보의 효율적인 처리에 핵심을 이루고 있다. 정보의 폭증과 다양한 활용분야의 개발은 지리정보 분야에서도 예외가 아니어서 이들을 종합적이고 체계적으로 관리하기 위하여 컴퓨터 기술을 활용한 지리정보시스템이 발전되고, 활발하게 활용되고 있다.

이제까지 국내에서는 지리정보 자료의 획득을 위해 주로 항공사진과 위성영상을 많이 이용하고 있지만, 최근 외국의 여러 나라에서는 항공 레이저 매핑 시스템 등을 이용하여 지형도 및 DEM을 제작하는 방법을 많이 시도

하고 있다.¹⁾

현재 우리나라에서도 시범사업으로 항공 레이저 매핑 시스템을 이용한 지형도 제작, DEM제작 등의 여러 분야에의 이용을 위한 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 시범사업으로 레이저 매핑을 실시한 측량지역 일원에 대하여 높이 정확도를 검증하기 위해 레이저 측량지역의 검수점을 선정하여 GPS를 이용해 측량하고, 레이저 매핑 데이터와 GPS 측량성과 간의 높이 값을 비교하는 방법으로 레이저 매핑의 높이 정확도를 검증하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구대상지

항공 레이저 매핑 시스템을 이용해 레이저 스캔한 지역은 분당 신도시 지역 일원으로, 남북방향 1 km, 동서방향 12 km, 총 면적 약 12 km²이며, 검수지역은 도심지를 제외한 도심외곽지역을 대상으로 하였다.

*인하대학교 대학원 지리정보공학과 석사과정

** (주)Mobile Mapper 대표이사

***인하대학교 공과대학 지리정보공학과 조교수

2.2 연구수행과정

본 연구의 진행방법은 항공 레이저 지형 매핑 (Airborne Laser Terrain Mapper 혹은 ALTM)의 시험 대상 지역을 선정하여 ALTM으로 스캐닝한 다음, 취득한 자료의 DTM의 높이 값의 정확도를 검증하기 위해 대상지역내의 동서방향 12 km의 구간을 500 m간격으로 분할하고, 남북방향으로는 측정 간격이 400 m가 되도록 측정점을 26개 선정하였다.

GPS 측정과 레이저 매핑 데이터의 높이 값의 정확도 비교는 두 가지 방법을 이용하였다. 첫 번째 방법은 GPS 측정과 가장 가까이 근접해 있는 레이저 데이터의 4점을 선택하고, 이 점들의 높이 값을 평균하여 GPS 측정점의 높이를 검증하는 방법이다. 두 번째 방법은 GPS 측정 3점을 선정하여, 세 점이 이루는 좌표평면을 구한 후 레이저 매핑의 높이값을 검증하는 방법이다.

이 두 가지 방법에 의해 구한 레이저 매핑 데이터와

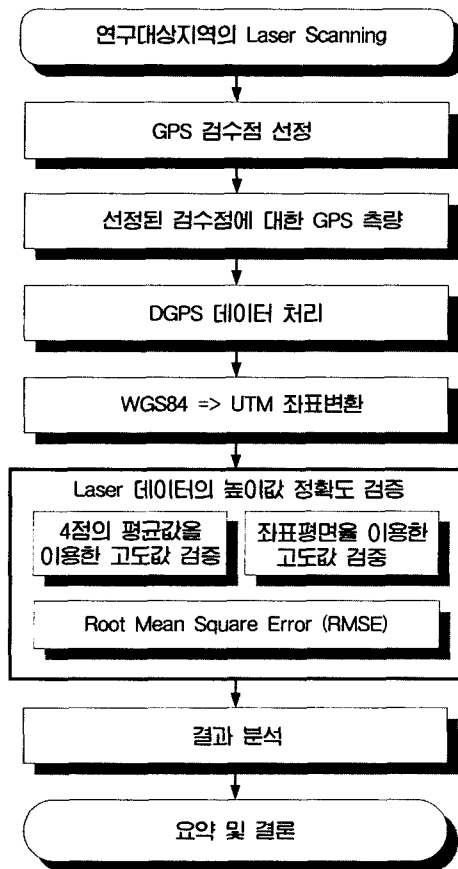


그림 1. 연구수행과정

GPS 측정간의 높이값의 차에 대해 RMSE를 구하였다. 그림 1은 이와 같은 연구수행과정을 개념화한 것이다.

3. 이론적 배경

3.1 ALTM

ALTM은 GPS와 INS 및 레이저 거리 측정 센서를 통합한 장비로서 이를 항공기에 장착한 후 지형도 및 DTM제작 대상지역에 대해 스캐닝하여 취득한 GPS, INS, Laser 거리측정 데이터를 이용하면 지표면의 측정 좌표(X, Y, Z)를 매핑할 수 있고 대축척 지도 및 수 센티미터 정확도의 DEM 제작이 가능하다.

GPS는 레이저 센서의 위치를 결정하며, INS는 항공기 및 센서의 자세를 제어하고, 레이저 센서는 적외선 레이저 빔을 회전반사거울을 통해 투사하고, 투사된 빔이 지표면에 반사되어 돌아오는 시간차와 회전반사거울의 회전각을 이용하여 지표면 측정점의 상대위치를 계산하게 된다. 따라서 레이저 센서의 위치를 GPS와 INS를 이용하여 결정함에 따라 지표면 측정점의 절대위치 X, Y, Z값이 결정된다. 이때 결정되는 레이저 센서의 위치는 DGPS를 이용하므로 높은 정확도의 결과를 얻을 수 있다.

3.2 레이저 데이터의 높이 정확도 검증

정확도 검증의 첫째 방법으로, 아래 그림 2와 같이 GPS측정점을 포함하고 있는 4점의 레이저 측정점(A, B, C, D)의 높이값 Z의 평균을 구하여 검증한다.

좌표평면을 이용한 높이값 검증에서는 GPS측점(G)와 가장 가까운 3점의 레이저 측정점(P, Q, R)을 선택하고 이 3점을 지나는 평면방정식을 구하여, 그림 3과 같이 G점을 지나는 Z축과 평행한 직선의 PQR 평면과 만나는 점

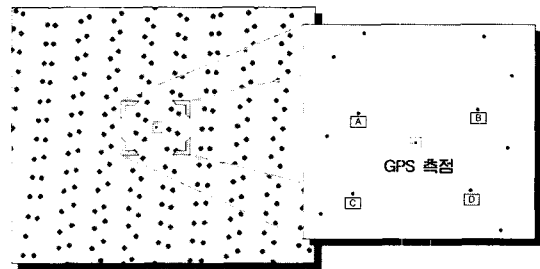


그림 2. Laser 데이터와 GPS 측정점의 높이값 비교

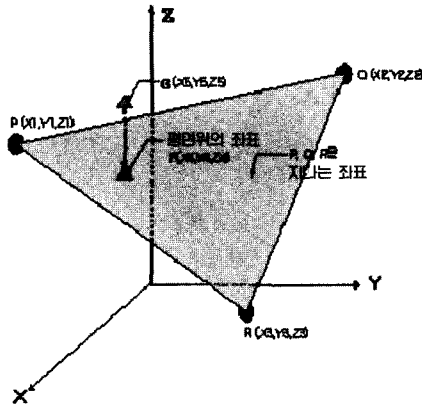


그림 3. Laser 데이터와 GPS측점의 높이값 비교

(F)의 측점좌표를 구한 다음 평면상의 측점좌표(F)와 GPS측점의 높이 값을 비교한다.

4. ALTM 측량

ALTM을 이용한 데이터 획득 및 처리과정은 계획 수립과 취득 작업에 의해 이루어지게 된다.

그림 4는 이와 같은 과정을 개념화한 것이다.

ALTM장비의 하드웨어 부분은 GPS, INS, 레이저 거리측정 센서로 구성되어 있으며, 소프트웨어 부분은 분

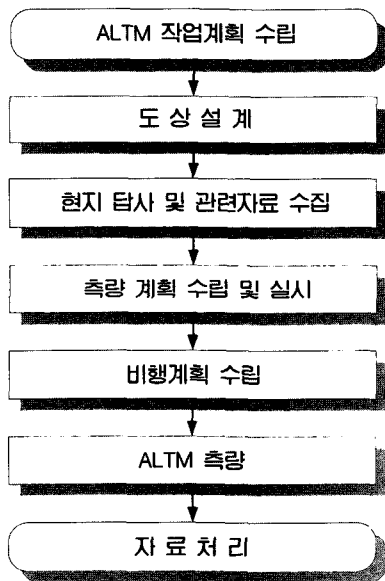


그림 4. ALTM 작업과정

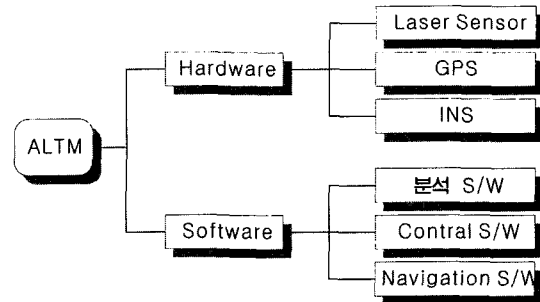


그림 5. ALTM 구성도

석 소프트웨어, 컨트롤 소프트웨어, 항법 소프트웨어로 구성되어 있다.

본 시범연구에서 사용한 장비는 캐나다 Optech사에서 개발한 ALTM 1010이며, 장비의 주요규격은 다음의 표 1과 같다.

ALTM으로 얻어진 데이터는 레이저 측량을 실시한 지형에 대해 X, Y, Z에 대한 점으로 이루어져 있으며, 이

표 1. ALTM 1010 주요 규격

구분	ALTM
Scan 고도	400~1,200 m
Scan Angle	0±20°
Swath	0 to 0.68×고도
Scan Frequency	25 Hz for ±20°
Laser Repetition Rate	4 kHz
수평정확도	1/1,000×고도 이상
수직정확도	15 cm



그림 6. Digital Terrain model (DTM)

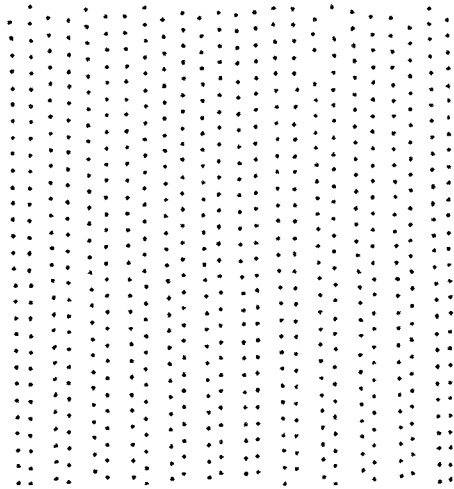


그림 7. Coverage

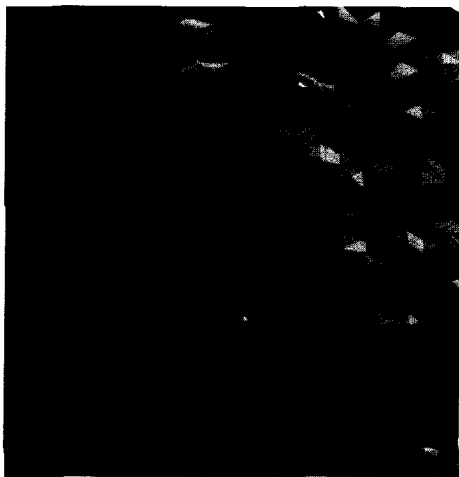


그림 8. TIN



그림 9. 측점 사진

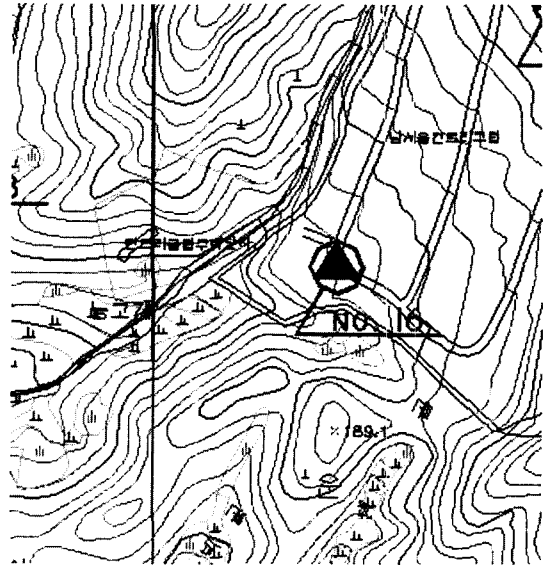


그림 10. 지형도

점들에 의해 지형 정보를 추출할 수 있다. ALTM을 이용하여 측량한 분당 산악지역 일부의 DTM 영상은 그림 6과 같다.

그림 7~10은 레이저 측량을 실시한 지역의 높이값 검수를 위한 GPS 측점 16번에 해당하는 커버리지와 이를 이용하여 제작한 TIN, 지상측점의 GPS 측량사진, 측점 주위의 지형도이다.

5. GPS 측량

5.1 GPS 측량 방법

5.1.1 기준국(Base Station)

ALTM측량의 높이 검수를 위해 후처리 DGPS를 사용하였으며, 측량 방법은 ALTM측량시 기준국으로 사용하였던 기준점에 DGPS를 위한 기준국을 설치하였다. 표 2는 기준국의 고정점 좌표이다.

5.1.2 이동국(Rover Station)

ALTM의 검수 측점에 대하여 GPS측위기법 중의 하나인 신속정지측량을 사용하였으며, 각 검수측점에 대해 30분씩 관측을 실시하였다.

표 2. 기준국 좌표(WGS84)

위도	경도	높이
37°23'19.944"N	127°06'20.362"E	132.220 m

5.2 사용장비

검수측점의 측량장비는 Trimble사의 2주파 수신기 5대를 이용하였으며, 표 3은 장비의 정확도를 나타내었다.

표 3. GPS장비 사양

구 분	정지측량(기준국), 신속정지측량(이동국)
정확도	수평(x,y) 5 mm±1 ppm
	수직(z) 10 mm±1 ppm
관측시간	신속정지측량 : 20분이상 정지측량 : 2시간이상
위성추적	12channels, L1 C/A-Code L1/L2 full cycle carrier phase

6. 레이저 데이터의 높이값 검수 결과

GPS 측량점 중 12, 22, 24, 32번은 레이저 매핑 지역 외곽으로 벗어나 있기 때문에 검수에서는 제외하였다. 각 측점의 데이터를 아래의 표 4에 나타냈다.

GPS 높이와 레이저 매핑높이의 비교 결과, 4점의 평균으로 검수한 경우의 높이차의 RMSE는 13.8 cm로 나타났고, 좌표평면을 이용한 경우의 RMSE는 13.4 cm로 나타났다. 그림 11에서 각 측점의 그래프의 유형을 보면 '4점의 평균'을 이용한 검수방법과 '좌표평면'을 이용한 검수방법의 그래프의 변화는 대체적으로 비슷한 변화를 보였다.

표 4. ALTM 높이값 검증결과(단위:m)

번호	측점 번호	GPS측점높이 (Z ₁)	검수방법에 의한 높이				높이 차		지면 상태
			레이저 4점 평균높이(Z ₂)	레이저 4측점과 GPS측점 평균거리	레이저 측점의 좌표평면 높이 (Z ₃)	레이저 3측점과 GPS측점 평균거리	Z ₂ - Z ₁	Z ₃ - Z ₁	
1	1	123.837	123.8575	0.539	123.879	0.460	0.021	0.042	양호
2	2	71.965	71.930	0.868	71.888	0.809	-0.035	-0.077	양호
3	3	233.093	232.930	0.518	232.833	0.451	-0.163	-0.260	양호
4	4	126.781	126.630	0.319	126.590	0.278	-0.151	-0.191	양호
5	5	208.042	207.880	0.432	207.899	0.398	-0.162	-0.143	불량
6	6	275.342	275.323	0.736	275.320	0.498	-0.020	-0.022	양호
7	7	172.292	172.270	0.667	172.275	0.570	-0.022	-0.017	불량
8	8	164.779	164.730	0.598	164.689	0.589	-0.049	-0.090	양호
9	9	250.461	250.405	0.645	250.379	0.546	-0.056	-0.082	양호
10	10	186.392	186.563	0.880	186.421	0.818	0.171	0.029	불량
11	11	245.567	245.572	0.776	245.487	0.685	0.005	-0.080	양호
12	13	107.499	107.340	0.490	107.323	0.490	-0.159	-0.176	불량
13	14	80.956	80.938	0.534	80.954	0.506	-0.019	-0.002	양호
14	15	109.907	109.735	0.777	109.712	0.735	-0.172	-0.195	불량
15	16	191.306	191.193	0.766	191.392	0.592	-0.114	0.086	불량
16	17	163.428	163.260	0.824	163.233	0.729	-0.168	-0.195	불량
17	19	66.507	66.320	0.666	66.493	0.571	-0.187	-0.014	양호
18	20	63.441	63.268	0.495	63.164	0.483	-0.174	-0.277	양호
19	21	192.714	193.003	0.984	192.769	0.844	0.289	0.055	불량
20	22	140.237	140.140	0.662	140.124	0.597	-0.097	-0.113	불량
21	25	209.647	209.430	0.876	209.357	0.799	-0.217	-0.290	불량
22	30	246.869	246.818	0.499	246.802	0.459	-0.052	-0.067	양호
23	31	202.516	202.518	0.860	202.513	0.768	0.002	-0.003	불량
24	35	367.38	367.363	0.962	367.314	0.887	-0.018	-0.066	양호
25	37	371.271	371.118	0.480	371.155	0.404	-0.154	-0.116	양호
26	38	255.946	255.718	0.727	255.940	0.677	-0.229	-0.006	불량
RMSE							±0.138	±0.134	

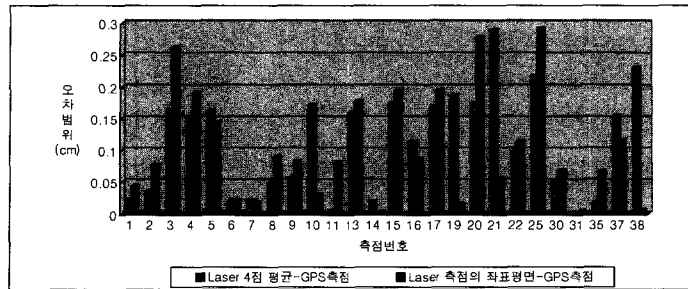


그림 11. 높이 검증결과 (단위:cm)

표 5. 오차군 분포

오차 범위	검수 방법	측점수	기타
5 cm이하	TIN	8	30%
	4점 평균	10	37%
5 cm~10 cm	TIN	8	31%
	4점 평균	2	8%
10 cm~15 cm	TIN	3	12%
	4점 평균	2	8%
15 cm~20 cm	TIN	4	15%
	4점 평균	9	35%
20 cm~30 cm	TIN	3	12%
	4점 평균	3	12%

위 결과에서 레이저 매핑 검수측점의 지면상태따라 '양호'와 '불량'으로 구분하였고, 양호지역은 지면이 콘크리트나 도로변으로 지면이 견고한 지역으로 계절적 변화에 영향이 없는 지역이다. 반면 불량지역은 지면이 풀밭이나 농토지역으로 계절적 변화에 따른 지면의 상태가 불안정한 지역이다. 양호지역은 총 검수측점 26곳 중 14 지역이고, 불량지역은 12곳이다. 검수결과에서 측정번호 10, 19, 21, 38번 지역은 검수방법에 따라 높이 값의 차이가 15cm이상 차이를 보이며, 이 지역은 지면상태가 불량한 지역으로 레이저 매핑 측점에서 검수 측점 선택시 지면변화가 심하여 선택된 측정의 높이차가 증가하여서 이와 같은 결과를 나타내는 것으로 사료된다.

7. 결 론

기존 연구논문에 의하면 위성영상과 항공사진을 활용

해 수치표고모델을 추출했을 경우 해상도가 10m×10m인 위성영상을 이용한 수치표고모델의 추출한계는 약 12m이고, 항공사진을 이용한 수치표고모델의 추출한계는 약 3m정도로 보고 되고 있다.²⁾

이번 연구의 결과 ALTM의 고도값 정확도는 기존의 수치표고모델 제작방법보다 높은 정확도를 확보할 수 있어 1/5000 이상의 수치표고 제작³⁾에 적용할 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 GPS 측량성과를 이용하여 ALTM의 높이값을 검증한 결과, 약 13cm의 정확도를 보였다. 이 결과는 레이저 매핑 지역 중에서 지형의 기복변화가 심한 산림지역을 대상으로 하였으므로 시가지, 평지, 일반도로, 고속도로 등과 같이 시간에 따른 지면의 변화가 없는 지역을 다수 포함하면 ALTM을 이용한 수치표고 제작 정확도는 보다 향상될 것으로 기대된다.

참고문헌

1. James Feruson, GEOsurv Inc, "A Practical Evaluation of Airborne Laser Mapping for Highway Engineering Surveys", 2000.
2. 유복모, 박흥기, 유환희, 정 수, "위성영상을 이용한 3차원 정사투영영상 생성법에 관한 연구", 연세대학교 산업기술연구소, 1997, pp. 64-66, pp. 110-113.
3. 국립지리원, "수치지도 작성작업 내규", 국립지리원 내규, 제71호, 1995, pp. 5-7.

(2001년 9월 11일 원고접수)