

연구논문

LiDAR 데이터를 이용한 등고선 제작의 효율성 평가 Efficiency Evaluation of Contour Generation from Airborne LiDAR Data

위광재* · 조재명** · 이임평*** · 강인구****

Wie, Gwang Jae · Cho, Jae Myoung · Lee, Impyeong · Kang, In Gu

요 旨

최근 들어 디지털 기반의 산업환경 변화와 더불어 관련 기술의 변화가 급속히 진행되고 있다. 측량분야에서도 과거 단순히 항공사진을 이용하여 도화를 하던 방식에서 벗어나 GPS 및 INS 등의 멀티센서 및 디지털 카메라를 이용한 디지털 방식의 작업환경이 도입되고 있다. 지형에 대한 정확한 데이터는 국토의 효율적 이용 및 관리, 도시계획 수립, 환경 및 재난관리 등 여러 분야에서 광범위하게 활용되고 있으며 지식정보시대의 필수적인 정보인프라로 인식되고 있다. 본 연구에서는 수목 등에 투과성이 우수하며 비행설계에서부터 최종성과물까지 디지털 방식으로 정확·신속하게 데이터를 산출할 수 있는 항공레이저측량을 이용하여 지형정보를 취득하였으며, 이를 통해 제작된 등고선과 항공사진 도화에 의한 현행 수치지형도(1/1,000 및 1/5,000의 등고선을 비교하여 그 정확도와 세밀도 및 경제적 관점에서 효율성을 평가하였다. GPS측량에 의한 정확도 평가 결과, LiDAR 데이터의 표고 정확도는 평균 $0.089\text{m}\pm 0.062\text{m}$ 로써 1/1,000 수치지형도보다 우수하게 나타났으며, 복잡한 도시의 지물을 보다 더 세밀하게 표현할 수 있었다. 경제적 측면에서는 현행 항공사진 도화에 의한 1/1,000 수치지형도 등고선 제작비용(100km² 기준)과 비교하여 약 48%의 비용절감 효과를 나타냈다. 본 연구결과, 갱신주기가 수년에 이르는 수치지형도의 수정·갱신이 미흡한 현재의 상태에서 항공레이저측량에 의하여 획득된 LiDAR 데이터를 이용할 경우에 등고선의 최신성 및 현시성을 충족시킬 수 있는 대안임을 보여 주었다.

핵심용어 : 등고선, 수치지형도, 라이다, 항공레이저측량, 직접외부표정요소

Abstract

The digital working environment and its related technology have been rapidly expanding. In the surveying field, we have changed from using optical film cameras and plotters to digital cameras, multi sensors like GPS/INS etc.. The old analog work flow is replaced by a new digital work flow. Accurate data of the land is used in various fields, efficient utilization and management of land, urban planning, disaster and environment management. It is important because it is an essential infrastructure. For this study, LiDAR surveying was used to get points clouds in the study area. It has a high vegetation penetrating advantage and we used a digital process from planning to the final products. Contour lines were made from LiDAR data and compared with national digital base maps (scale 1/1,000 and 1/5,000). As a result, the accuracy and the economical efficiency were evaluated. The accuracy of LiDAR contour data was average $0.089\text{m}\pm 0.062\text{m}$ and showed high ground detail in complex areas. Compared with 1/1,000 scale contour line production when surveying an area over 100 km², approximately 48% of the cost was reduced. Therefore we propose LiDAR surveying as an alternative to modify and update national base maps.

Keywords : Contour, Digital map, LiDAR, Airborne Laser Surveying (ALS), Direct georeferencing

1. 서 론

최근들어 정보기술의 발달과 국가 주도의 다양한 IT

정책 등으로 인해 국토공간정보기반구축의 필요성이 더욱 증대되고 있는 현실이다. 그 중에서도 지형공간정보는 국토의 효율적 이용 및 관리, 도시계획 수립, 환경 및

2007년 5월 10일 접수, 2007년 6월 9일 채택

* 정희원·성균관대 건설환경시스템공학과 박사과정 수료·한진정보통신(주) GIS사업부 (gjwe@hist.co.kr)

** 교신저자·정희원·성균관대학교 건설환경시스템공학과 BK21 Post-Doc. (jmcho@ geo. skku.ac.kr)

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

**** 정희원·건설교통부 국토지리정보원, 공간영상과 사무관 (kig777@mocet.go.kr)

재난관리, 의사결정 등 여러 분야에서 광범위하게 활용되고 있으며 지식정보화시대의 필수적인 정보인프라로 인식되고 있다.

2000년 5월 미국이 GPS위성에 적용되던 SA(Selective Availability)의 해제를 통해 정확도가 향상되었고 이에 따라 GPS의 민간사용이 폭발적으로 늘어나게 되었다. 측량분야에서도 고정밀 위치측정에 GPS의 활용이 증대되었고, 특히 항공측량분야에서는 GPS뿐만 아니라 INS(관성항법장치) 등 다양한 센서들의 조합을 통해 관측하는 센서융합 기술이 등장하게 되었다.

LiDAR(Light Detection And Ranging)는 1990년대 중반부터 상용화된 장비가 출시되었고 이후로 정확도 향상, 자료처리 및 활용 등의 기술개발에 따라 지형지물의 위치자료를 획득하는 주요수단으로 선진국에서는 활용하고 있다. LiDAR 기술을 이용한 항공레이저측량을 통하여 획득되는 3차원 포인트(point) 데이터는 수치표고모델(DEM : Digital Elevation Model) 및 수치표면모델(DSM : Digital Surface Model)로 가공되며, 지형뿐만 아니라 복잡한 도시의 건물, 인공 구조물, 시설물 등의 모델링에도 활용되고 있다. LiDAR 데이터는 투과성과 다중반사의 특성을 이용하여 건물이나 수목의 상단과 지면까지의 3차원 위치를 추출 할 수 있는 장점을 가진다.

현재 우리나라 국가기본도 중, 1/1,000 및 1/5,000 수치지형도는 일정 주기로 갱신하도록 되어 있는데, 항공사진을 기반으로 제작하기 때문에 최종 성과품 제작에 상당한 시간이 소요되고 있으며, 특히 수목(樹木)에 가려져 항공사진상에 나타나지 않은 산악지의 지면을 정확히 묘사하는 데에는 한계가 존재하고 있다. 또한 아날로그 방식의 작업환경과 작업자의 숙련도가 성과품의 품질에 많은 영향을 미치고 있는 실정이다.

Jie Shan 등(2005)은 도시지역의 DEM을 제작하기 위해 Labeling Algorithm을 이용하여 라이다 원시 자료(Raw Data)로부터 지면점과 비지면점을 구분하였으며, Kraus 등(1998)은 산림지역의 표면모델을 대상으로 기존의 항공사진측량 방법과 항공 라이다 측량 방법을 통하여 얻어진 등고선을 비교하고 등고선 추출 가능성에 대해 연구하였다. 한편 이동천 등(2005)은 항공레이저측량 데이터를 이용하여 수치지형도 제작에 필요한 건물 및 등고선을 추출하기 위하여 항공레이저측량 데이터의 전처리 과정과 단계별 처리과정에 관련되는 다양한 조건의 영향과 정확도에 관하여 평가 하였으며, 유근홍등(2005)은 지형의 특성에 따라 특이점(model keypoints)의 구성조건을 서로 다르게 적용하여 등고선을 함으로써 지형도에 필수적으로 포함되는 등고선을 자동으로 생성하고, 그 정확도를 평가하였다. 또한 위광재 등(2006)은 항공

LiDAR 데이터를 현지측량 기준점을 사용하여 수평, 수직 성분으로 각각 구분하여 정확도를 제시하였다.

본 연구는 항공 LiDAR 측량 데이터를 이용하여 현행 수치지형도의 기준에 적합한 등고선을 제작하고 이를 기존의 등고선 제작방법과 기술적, 경제적 관점에서 비교함으로써 제작 효율성을 분석하는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위하여 기술적 평가에서는 현행 수치지형도의 등고선과의 정확도 비교와 도시지역의 지형 표현에 대한 세밀도를 평가하였으며, 경제성 평가에서는 품셈에 근거한 기존 등고선 제작 방식과의 제작비용 차이를 비교하였다.

2. 현행 등고선 제작 방법 및 문제점

2.1 항공사진 도화

현재까지 국내에서 대부분의 기본지리정보 제작과 지형공간정보체계의 자료는 항공사진측량을 이용하고 있다. 사진술의 발달로 시작된 항공사진측량은 최근까지 주로 광학적 기계식 장비를 이용한 작업방식에 국한되어 있었다. 하지만 컴퓨터의 발달과 해석도화기의 보급으로 인해 대량의 사진을 미지수에 관계없이 동시조정 가능한 광속조정기법이 실용화됨으로써 이로 인해 항공사진측량은 지도제작을 위한 가장 표준화된 기법으로 인식되었다.

한편, 최근 들어 항공사진측량은 GPS와 INS등의 센서융합기술을 적용하여 필요로 하는 지상기준점의 수를 감소시키는 등) 측량경비의 절감을 통해 경제성을 향상시켰다.

항공사진측량은 지도제작 분야에서 주로 활용되고 있는데, 사진을 이용한 도화 작업에 앞서 입체시를 위한 표정(orientation)작업이 선행되어진다. 내·외부 표정을 위해서는 평면 및 수준점에 대한 지상측량을 통해 얻은 기준점을 이용하거나 GPS/INS 등의 멀티센서를 활용하여 블록조정과정을 거쳐야만 한다. 이러한 표정요소 결정은

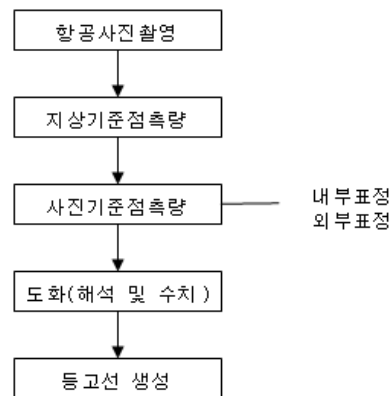


그림 1. 항공사진에 의한 등고선 생성 과정

위해서는 많은 시간과 노력을 필요로 하며, 이는 항공사진측량에서 매우 큰 경비와 시간의 비중을 차지하고 있다. 지상측량데이터와 영상매칭을 통해 외부표정요소가 결정되면 입체시를 이용하여 도화를 실시한다. 도화사는 도화기를 통해 중복 촬영된 한 쌍의 영상을 입체시하여 3차원 위치좌표를 묘사하게 되며, 등고선을 포함한 다양한 레이어에 대한 정보를 취득하고 이를 수정, 편집함으로써 수치지형도가 완성된다. 항공사진을 이용한 등고선 생성 작업과정은 그림 1과 같다.

2.2 문제점

2.2.1 정확도

현재까지 도화 과정은 수작업으로 진행되고 있어 도화기를 운영하는 도화사의 숙련도, 기능의 수준 및 습관에 의한 개인오차가 발생하고 있으며 이는 도화 성과의 균일한 품질 유지에 상당한 영향을 미치고 있다. 또한 도화기종별 및 도화대상 즉 지형, 지물의 난이도와 세부상세도에 따라서 차이가 발생하고 있다.

한편, 국내의 항공사진촬영은 필름카메라를 이용하여 촬영하고 있는 실정인데 이는 촬영 후 필름의 현상, 보안 지역 처리 등의 과정을 거치면서 필름자체에 훼손이 일어나게 되고 디지털 환경에서 후속작업을 하기 위해서 항공사진전용 스캐너를 통해 디지털 영상 파일로 변환해주는 작업도 필요하다. 이러한 여러 가지 작업과정 중에 발생하는 문제들로 인해 항공사진 도화에 의한 최종 결과물은 그 정확도 및 영상의 품질이 저하되게 된다.

2.2.2 지형묘사

항공 촬영된 사진을 이용하여 시각적인 도화를 실시할



그림 2. 식생에 의한 높이오차

때, 건물의 기복변위나 수목에 가려져 사진 상에 나타나지 않는 지형지물에 대해서는 추가 보완적인 현지 측량을 진행하여야 한다. 특히 산악지의 경우 수목에 의한 영향으로 지형에 대한 정확한 높이 결정이 어렵다. 따라서 촬영시기를 조정하거나 수고 높이 보정을 실시하고 있지만 정확한 지형의 높이를 얻는데 한계가 있다. 그림 2와 같이 항공사진 도화를 통한 지형자료의 제작은 작업 과정이 복잡하며, 많은 시간과 경비가 소요된다. 특히 굴곡이 심하거나 복잡한 도시 지역에 대한 수작업 방식의 지형표현은 그 한계가 있다.

3. LiDAR 데이터를 이용한 등고선 제작

3.1 실험지역 선정

연구 대상지역의 면적은 5.46km²(2.1km×2.6km)로써 LiDAR 데이터(점밀도 3points/m²) 및 디지털 영상(해상도 25cm)은 2005년 3월에 취득하였으며, 다양한 지형표현에 대한 분석 및 항공사진 도화에 의한 결과와의 비교를 위하여 1/1,000, 1/5,000 수치지형도가 제작된 산악지역을 대상으로 하였다.

3.2 등고선 제작

등고선 추출을 위해 LiDAR 데이터를 입력할 수 있는 상용 소프트웨어(TerraScan & Modeler by Terrasolid사)를 사용하였으며, 원시 LiDAR 데이터에서 등고선을 추

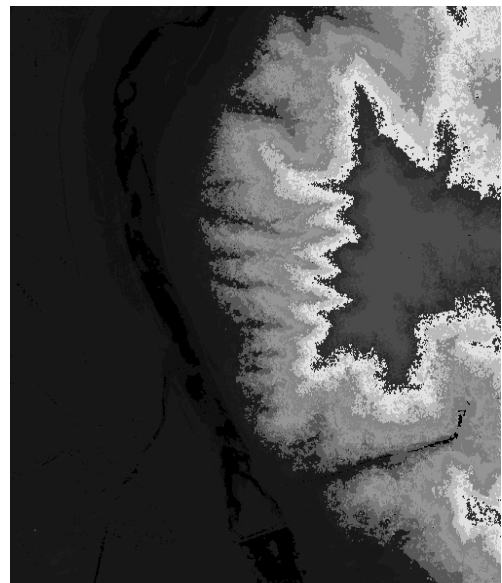


그림 3. 연구지역에 대한 라이다 데이터

출하기 위한 특이점(model keypoints)를 분류하였고, 분류된 데이터로 등고선을 추출하였다.

정확한 등고선 추출을 위해서 지형자료가 인공지물 또는 식생의 높이에 영향을 받지 않도록 순수한 지면(bare ground) 데이터를 분류하는 작업을 선행하여 실시하였다. 분류된 지면 데이터에 대하여 등고선을 생성할 경우 정확도에 영향을 주는 지형의 특성을 고려하여 최대 건물의 크기(max building size), 수렴각(iteration angle)과 수렴거리(iteration distance)등에 대하여 적절한 조건값을 부여하였다. 일부 지형부분에 대해서는 이러한 값들을 다양하게 변화시켜 데이터를 추출하였다.

특이점의 분류는 지형(ground) 데이터를 최소화하기 위

한 과정으로써 지표면으로 분류된 데이터에서 초기점을 선정하고 일정 영역안의 최고점과 최저점을 특이점으로 분류하여 초기 불규칙삼각망(TIN)의 생성에 사용된다. 지면 데이터로부터 재 분류된 특이점을 기반으로 TIN을 생성하여 등고선을 추출하였다. 산악지일수록 지형의 기복 변동이 심하고 등고선이 복잡해지며, 평지일수록 기복의 변화가 거의 없으며 등고선이 완만하게 생성이 된다. 따라서 연구지역내의 지형별 특성을 고려하여 조건값을 적용하였고, 점간의 간격이 0.1m이내인 점들은 무시하도록 설정하였다. TIN으로 동일한 높이의 점들을 찾아가며 보간법(B-spline)을 적용하여 1m 간격의 등고선을 추출하였다.

4. 비교 평가

4.1 정확도

연구대상 지역 내에 정확도 검사를 위한 검사점을 선정하고 GPS 측량을 실시하여 좌표를 결정하였으며, LiDAR 데이터와 1/1,000 및 1/5,000 수치지형도와 비교를 통해 정확도를 평가하였다.

각 축척의 수치지형도에서 등고선의 절점(vertex)에서 좌표를 추출하고 이를 통해 지형을 그림 5와 같이 나타냈다. 5m간격의 등고선으로 표현되는 1/5,000 축척의 수치지형도 자료는 사용할 수 있는 절점의 갯수가 상대적으로 부족하며, 1/1,000 수치지형도, LiDAR 지형데이터 순으로 지형을 표현하는 포인트 갯수가 많다.

검사점은 수목의 영향에 의한 높이 차이도 동시에 평가하기 위하여 산악지대와 도로주변으로 적절하게 배치하였다.

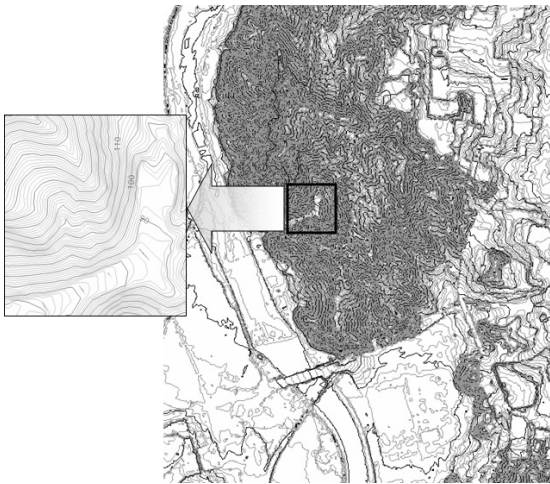


그림 4. LiDAR 데이터로부터 제작된 등고선

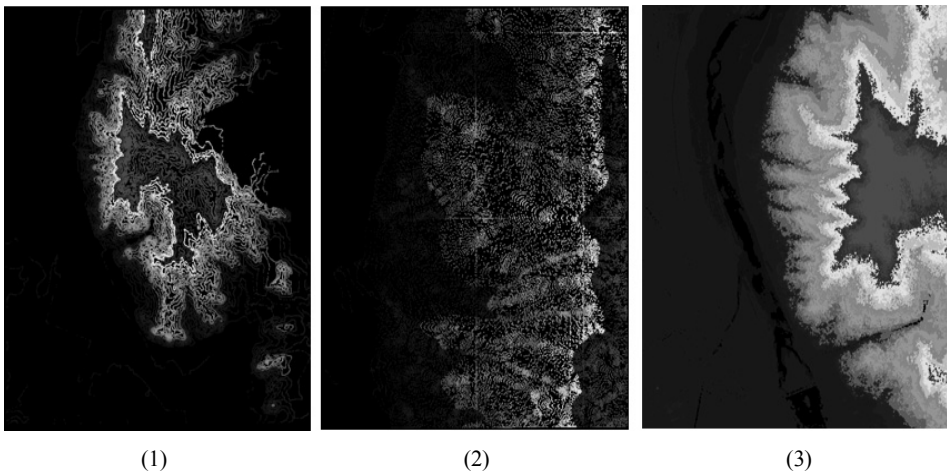


그림 5. 자료별 지형의 표현((1)1/5,000 수치지형도, (2)1/1,000 수치지형도, (3)LiDAR 데이터)

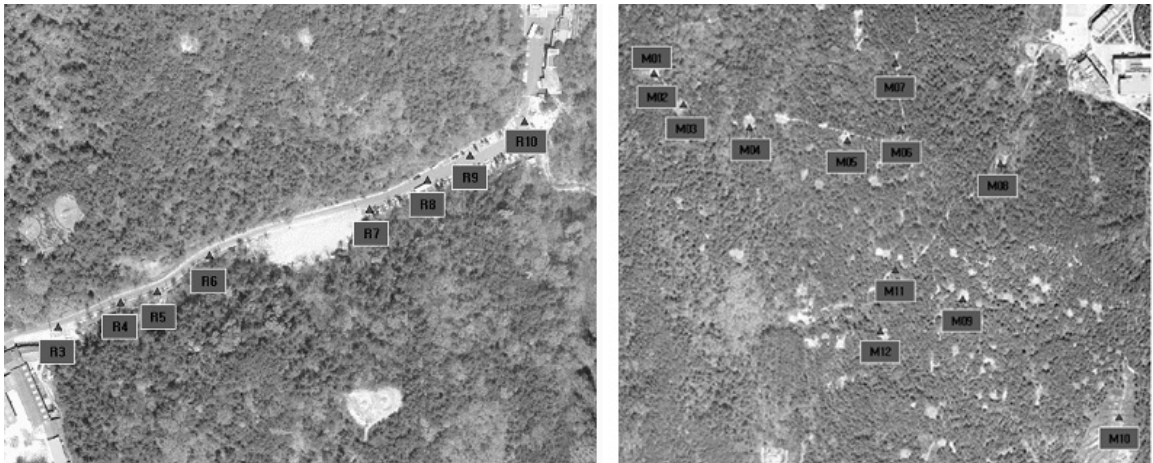


그림 6. 검사점 배치(좌:도로주변, 우:산악지)

표 1. 검사점에 대한 비교(M10점)

	LiDAR 데이터	1/1,000 수치지형도	1/5,000 수치지형도
비교			
등고선도			

표 2. 검사점별 정확도 비교(라이다 vs. 1/1,000 vs. 1/5,000)

측점	검사점의 평면좌표		검사점과의 높이차		
	Easting	Northing	LiDAR	1/1,000	1/5,000
R3	232163.861	313585.598	0.039	0.023	0.699
R4	232164.748	313584.338	0.097	0.260	1.152
R5	232202.515	313544.557	0.104	0.796	0.196
R6	232289.100	313515.217	0.064	0.451	0.018
R7	232417.275	313497.957	0.052	0.985	0.855
R8	232487.336	313510.376	0.108	0.756	0.085
R9	232479.613	313598.563	0.059	0.014	0.395
R10	232617.292	313467.633	0.072	0.314	2.166
M01	232567.664	313290.481	0.100	0.169	1.820
M02	232771.736	313136.621	0.004	0.103	1.892
M03	232463.231	313351.837	0.012	0.057	1.083
M04	232459.948	313248.542	0.212	0.998	2.610
M05	232019.374	312890.964	0.081	0.930	1.710
M06	232057.708	312905.294	0.105	0.047	0.874
M07	232079.954	312911.585	0.101	0.192	3.943
M08	232112.244	312932.645	0.253	0.139	0.185
M09	232210.504	312959.811	0.127	0.571	1.478
M10	232246.170	312977.052	0.048	0.797	3.802
M11	232272.501	312991.343	0.130	0.849	1.906
M12	232305.831	313011.248	0.009	0.697	0.808
평균			0.089	0.457	1.384
표준편차			0.062	0.362	1.129

그림 6과 같이 배치된 검사점에 대하여 취득된 LiDAR 데이터의 정확도를 비교한 결과, RMSE는 ±0.12m로 나타났다.

한편, 검사점을 대상으로 LiDAR 데이터, 1/1,000 및 1/5,000 수치지형도와 비교한 결과, 각각 차이의 평균은 0.089m±0.062m, 0.457m±0.362m, 1.384m±1.129m으로 나타났다. 따라서 무수한 포인트 데이터를 이용하여 지형을 표현하는 라이다 데이터가 가장 정확 또는 정확, 정밀하게 지형을 묘사하고 있음을 알 수 있었다.

4.2 세밀도

LiDAR 데이터는 등고선을 생성함에 있어서 디지털 형태의 자동화된 방식으로 처리된다. 이는 현행 항공측량 도화방식에서의 수작업에 의한 방법과 가장 차별화되는 장점이다. 즉 지형지물을 묘사함에 있어서 도화사의 개인적 숙련도나 습성에 의한 차이뿐만 아니라 사용 장비 또는 대상지역의 난이도에 따른 차이가 거의 없다는 것이다. LiDAR 데이터를 이용한 지형표현의 세밀도를 평가하기 위하여 본 연구에서는 LiDAR 데이터로부터 지면 및 비지면을 분류한 후에 지면 데이터로부터 생성된 등고선과 수치지형도의 등고선을 시각적으로 비교, 평가 하였다.

대상지역은 경사가 급격히 변하는 교량지역, 인공적인 절개를 통해 건물을 지은 산악 절개지 그리고 도로, 철도 및 가로이 혼재된 철도복개 주차장 지역을 대상으로 하였다.

그림 7과 같이 디지털 영상, 수치지형도, 라이다 데이

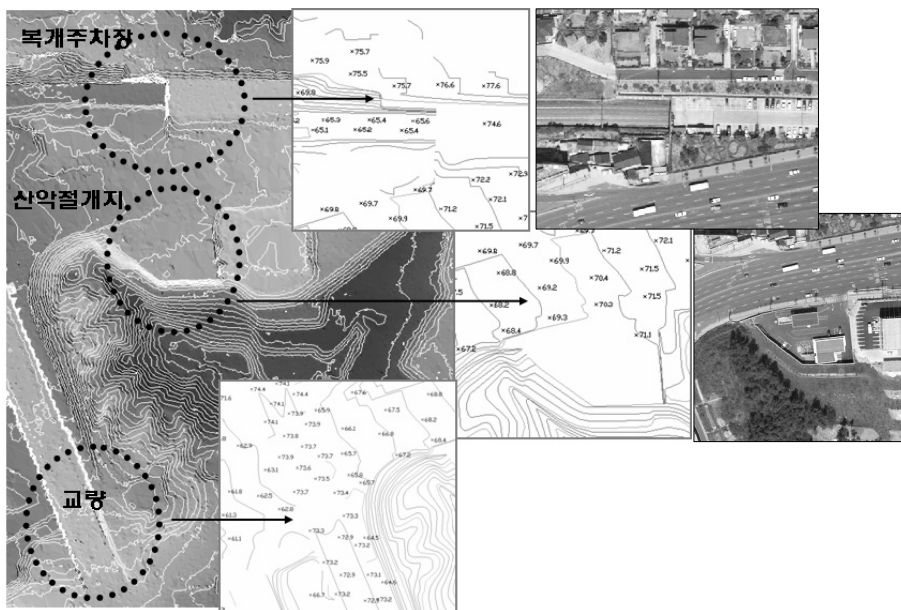


그림 7. 지형묘사의 세밀도 평가

터를 이용한 지형의 세밀도 표현을 비교한 결과, 디지털 영상은 시각적인 인식이 우수하지만 사진기준점측량과 정사보정을 통한 영상지도 형태로의 가공이 필요하며, 입체화된 3차원 형태를 표현하기에는 한계가 있다. 수치지형도는 도식적인 표현으로 간편화되어 있으나 항공사진을 이용한 간접적인 도화과정을 거치면서 오차가 누적되고 도화사의 숙련도에 의존하며 등고선이 부분적으로 끊어지는 식의 한계가 있다. 반면에 LiDAR 데이터를 이용한 경우에는 복개주차장, 산악절개지, 교량 등의 복잡한 지형과 지물에 대해서도 정밀한 표현이 가능하였다.

4.3 경제성

LiDAR 데이터를 이용한 등고선 제작비용과 수치지형도의 등고선 제작비용을 비교, 평가하기 위하여 동일한 면적을 대상으로 실험을 실시하였다. 비교면적은 100km²이며, 객관적이고 신뢰성 있는 비용 계산을 위해 건설표준품셈(2007년 36판, 건설연구사)을 적용하여 경제성을 평가하였다.

비교 항목은 LiDAR 데이터를 이용한 1m 간격의 등고선 제작과 1/1,000 수치지형도의 1m 간격의 등고선 제작 및 1/5,000 수치지형도의 5m 간격의 등고선을 제작함에 있어서의 소요비용을 각각 비교하였다. 비교 방식에 있어서는 LiDAR 데이터를 이용하여 수치지형도를 제작한 후, 등고선 레이어 제작비용을 계산한 것과 항공사진측량을 통해 수치지형도를 제작하고 등고선 레이어 제작비용을 계산한 것을 비교하였다.

표 3, 표 4는 실험지역(100km²)에 대한 항공사진측량 방식 및 LiDAR 데이터를 이용하는 방식에 의해서 등고

표 3. 항공사진 도화에 의한 등고선 제작비용(1/1,000 수치지형도 기준)

공 종	규 격	수 량	단 위	계
1.항공사진촬영	1/5,000	1	식	32,965,594
2.평면기준점측량		77	점	47,769,260
3.표고기준점측량		186.12	km	37,984,114
4.사진기준점측량		352	모델	50,503,200
5.수치도화	1/1,000	27	km ²	97,236,315
6.지리조사용 도면출력	1/1,000	27	km ²	1,005,885
7.지리조사	1/1,000	27	km ²	64,709,766
8.정위치편집	1/1,000	27	km ²	63,173,304
9.도면제작편집	1/1,000	27	km ²	35,350,911
10.최종도면출력	1/1,000	27	km ²	2,225,610
합 계			원	432,923,959

선 레이어를 제작하는 비용을 나타낸 것이며, 국토지리정보원 관련 작업규정과 지침(수치지도 작성 작업규칙, 건설교통부령 제510호)을 기준으로 등고선이 차지하는 부분을 기준면적 100km²당 약 25~30%로 간주하여 계산한 결과이다.

비교결과, 1/1,000 수치지형도 기준의 등고선 제작의 경우에는 LiDAR 데이터를 이용하는 것이 항공사진 도화에 의한 방식보다 비용적 측면에서 48%의 절감효과를 나타내었으며, 1/5,000 수치지형도 기준의 등고선 제작에서도 14%의 절감 효과가 있는 것으로 나타났다. LiDAR 데이터를 이용하여 등고선을 제작할 경우, 지형의 표현을 세밀하게 해야 하는 대축적 수치지형도 일수록 현행 항공사진 도화에 의한 등고선 제작 비용 대비, 절감효과가 큰 것으로 분석된다.

표 4. LiDAR 데이터에 의한 등고선 제작비용(1/1,000 수치지형도 기준)

공 종	규 격	수 량	단 위	계	
수치 표고 자료 품셈	1.작업준비	100	km ²	504,100	
	2.레이저 지형자료 취득	100	km ²	36,485,600	
	3.원시 지형자료 처리	100	km ²	2,015,500	
	4.수치표고자료 제작	100	km ²	21,355,700	
	5.정리 및 점검	100	km ²	620,400	
수치 지도 제작 품셈	6.지리조사용 도면출력	1/1,000	27	km ²	1,005,885
	7.지리조사	1/1,000	27	km ²	64,709,766
	8.정위치편집	1/1,000	27	km ²	63,173,304
	9.도면제작편집	1/1,000	27	km ²	35,350,911
	10.최종도면출력	1/1,000	27	km ²	2,225,610
합 계			원	227,446,776	

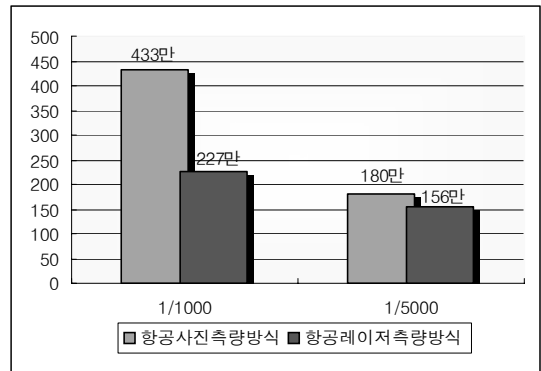


그림 8. 등고선 제작 경제성 분석(단위:100km², 백만원)

5. 결 론

본 연구에서는 LiDAR 데이터를 이용하여 등고선을 제작함에 있어서 현행 수치지형도의 등고선 제작 방법과의 차이점을 제시하고 그 결과를 기술적, 경제적 관점에서 비교·평가함으로써 그 효율성을 평가 하였다.

기술적인 관점에서는 현지 GPS측량을 통해 얻어진 점사점 성과와 LiDAR 데이터, 1/1,000 및 1/5,000 수치지형도의 표고성과와의 비교결과, 각각 그 차이의 평균은 $0.089\text{m} \pm 0.062\text{m}$, $0.457\text{m} \pm 0.362\text{m}$, $1.384\text{m} \pm 1.129\text{m}$ 를 나타냈다. 이는 LiDAR 데이터가 항공사진 도화 방식과 비교하여 지형의 기복을 보다 더 정확하게 표현하는 것임을 나타내는 것이다. 또한 지형을 표현하는 세밀도에 있어서도 고밀도 LiDAR 데이터를 이용한 자동화 방식이 교량, 산악절개지, 복개 주차장 등 복잡한 지형지물을 세밀하게 표현해 줌을 알 수 있었다. 경제적인 관점에서는 등고선 제작 방식에 따른 구축비용을 계산하여 비교한 결과, 1/1,000 및 1/5,000 수치지형도 기준의 등고선 제작에 있어서 LiDAR 데이터를 이용하는 경우가 현행 항공사진도화 방식에 비하여 각각 48%와 14% 정도의 비용 절감 효과가 있음을 보여주었다.

본 연구 결과, 건설교통부에서 브랜드사업으로 추진하고 있는 3차원공간정보구축사업과 국토지리정보원의 다차원공간정보구축사업 등의 성과로 구축되고 있는 LiDAR 데이터를 1/1,000 및 1/5,000 수치지형도의 등고선 수정·갱신시에 효과적으로 활용할 수 있음을 알 수 있었으며, 수치지형도 수정·갱신시에 항공사진측량에 의한 현행 방법을 사용하되 등고선 부분의 갱신에 LiDAR 데이터를 이용할 경우, 상대적으로 적은 비용으로 충분한 정확도를 가지는 성과를 얻을 수 있을 것으로 판단되며, NGIS 데이터베이스의 효율적 구축 및 수정·갱신에 이용 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 강준목, 윤희천, 이진덕, 윤희천, 2007, 항공 LiDAR 측량에 의한 수치지도 제작에 의한 경제성 분석, *한국지형공간정보학회지*, 제 15권, 제1호, pp. 67-73.
2. 이동천, 염재홍, 2005, "LiDAR 데이터를 이용한 수치지도의 건물 및 등고선 레이어 생성", *한국측량학회지*, 제23권, 제3호, pp. 313-322.
3. 최재화, 1986, "항공사진측량에서 도화작업의 오차에 대한 연구", *한국측량학회지*, 제4권, 제2호, pp. 43-58.
4. 이대희, 위광재, 김승용, 김갑진, 이재원, 2004, "시스템 초기화(Calibration)에 따른 항공레이저측량의 정확도 평가", *한국측량학회 추계학술발표회 논문집*, pp. 15-26.
5. 최은수, 한상득, 위광재, 2002, "도화원도를 이용한 LiDAR DEM의 정확도 평가", *한국측량학회지*, 20-2, pp. 23-32.
6. 위광재, 양인태, 서용운, 심정민, 2006.12, 현지 측량기준점을 이용한 LiDAR 데이터의 정확도 검증, *한국지형공간정보학회지*, 제 14권, 제4호, pp. 1-8.
7. 위광재, 김은영, 윤희식, 강인구, 2007.2, 멀티센서 데이터를 이용한 건물의 3차원 모델링 기법 개발 및 평가, *한국측량학회지*, 제25권, 제1호, pp. 19-30.
8. 건설교통부, 2006.6, "LiDAR를 이용한 NGIS DB의 효율적 구축 및 수정·갱신 방안 연구".
9. 건설교통부 국토지리정보원, 2005.9, "다차원공간정보구축사업(대전광역시) 보고서".
10. 건설교통부 국토지리정보원, 2005.9, "다차원공간정보구축에 관한 연구(I)".
11. 건설교통부 국토지리정보원, 2006.9, "다차원공간정보구축에 관한 연구(II)".
12. 건설교통부 국토지리정보원, "수치지도작성 작업내규(2006년 4월, 건설교통부령 제510호)".
13. 건설교통부 국토지리정보원, "항공사진측량 작업내규(2006년 10월, 건설교통부령 제2006-569호)".
14. 건설연구사, 건설표준품셈(2007년, 36판), 2007년.
15. K. Kraus, N. Pfeifer, 1998, "Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 53, pp. 193-203.
16. Jie Shan and Aparajithan Sampath, 2005, "Urban DEM Generation from Raw Lidar Data: A Labeling Algorithm and its Performance", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 71, No. 02, pp. 217-226.
17. Wehr, U. Lohr, 1999, "Airborne Laser Scanning - an Introduction and Overview", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 54, pp. 68-82.