

# 등고선 제작을 위한 라이다 데이터의 필터링 알고리즘 개발 및 적용

## A Development of lidar data Filtering for Contour Generation

위광재<sup>1)</sup> · 김은영<sup>2)</sup> · 강인구<sup>3)</sup> · 김창우<sup>4)</sup>

Wie, Gwang Jae · Kim, Eun Young · Kang, In Gu · Kim, Chang-Woo

### Abstract

The new laser scanning technology allows to attain 3D information faster with higher accuracy on surface ground, vegetation and buildings of the earth surface. This acquired information can be used in many areas after modifying them appropriately by users. The contour production for accurate landform is an advanced technology that can reveal the mountain area landscapes hidden by the trees in detail. However, if extremely precise LiDAR data is used in constructing the contour, massive-sized data intricates the contour diagram and could amplify the data size inefficiently. This study illustrates the algorithm producing contour that is filtered in stages for more efficient utilization using the LiDAR contour produced by the detailed landscape data. This filtering stages allow to preserve the original landscape shape and to keep the data size small. Point Filtering determines the produced contour diagram shape and could minimize data size. Thus, in this study we compared experimentally filtered contour with the current digital map(1:5,000).

Keywords : Contour, Filtering, LiDAR data, Laser Scanning

### 초 록

최근 측량기술과 정보통신기술이 발전함에 따라 다양한 공간정보 자료를 획득할 수 있게 되었다. 새로운 레이저측량기술은 정밀한 지형과 수목 및 인공지물 등에 대한 3차원 정보를 신속하게 획득하고 사용자가 원하는 정보로 가공하여 다양한 분야에서 활용되고 있다. 특히 정밀한 지형에 대한 등고선 제작은 기존의 항공사진측량에 의한 방법의 문제점을 해소하는 진보된 기술로서 수목에 의해 가려진 산악지의 지형을 상세하게 표현하고 정확도와 균질성을 확보하여 최근 국가기본도 수정제작 등 시범사업이 진행되고 있다. 그러나 고정밀의 라이다 데이터를 이용하여 등고선을 제작할 경우 대용량 라이다 데이터에 의해 등고선의 도형이 복잡해지고 용량이 비효율적으로 증가하는 문제점이 있다. 본 연구에서는 정밀한 지형 데이터로부터 생성되는 라이다 등고선의 효율적인 활용을 위하여 단계별로 필터링을 실시하여 실제 지형의 형태는 그대로 표현하면서 가벼운 용량의 등고선을 생성하는 알고리즘을 구현하였고 라이다 데이터의 필터링을 통하여 지형의 형태를 그대로 표현하면서 데이터의 용량을 최소화하였다. 따라서 본 연구는 라이다 등고선의 적극적인 활용을 위하여 알고리즘을 개발하고 연구지역을 대상으로 적용한 후 현행 수치지도와 비교해 보았다. 이러한 정밀 등고선은 건설 분야뿐만 아니라 생태지도 및 주제도, 재해 환경 분야, 홍수지도, 도시모델링 등 수요가 확대될 전망이다.

핵심어 : 등고선, 필터링, 라이다 데이터, 레이저 스캐닝

- 1) 교신저자 · 정희원 · 성균관대학교 사회환경시스템공학과 박사과정 · 한진정보통신(주) GIS기술연구소(E-mail: gjwe@hist.co.kr)
- 2) 정희원 · 한진정보통신(주) GIS기술연구소 대리(E-mail: eykim00@hist.co.kr)
- 3) 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정 · 국토해양부 국토지리정보원 지리정보과(E-mail: kig777@korea.kr)
- 4) 정희원 · 국토해양부 국토지리정보원 지리정보과(E-mail: jumbo@korea.kr)

## 1. 서론

도로설계 등의 엔지니어링 분야에서 정확한 실제 지형의 높이값은 설계와 시공에 직접적인 영향을 미치는 중요한 요소이다. 그러나 지상측량 및 항공사진측량에 의해 구축된 지형정보는 광범위한 지역의 정확한 데이터 획득에는 한계가 있다. 또한 현행 수치지도 등고선은 항공사진을 해석 및 수치 도화기 상에서 입체시키고 도화하여 생성하므로 작업량이 많고 도화사의 주관적인 판단과 경험에 의해 결정된다. 결과적으로 산악지역의 등고선이 간접적으로 측정되어 실제지형의 표현에는 어려움이 있다.

국토지리정보원의 국가기본도 중 축척 1:1,000 및 1:5,000 수치지도는 일정 주기로 갱신하도록 되어 있는데, 항공사진을 기반으로 제작하기 때문에 최종 성과품 제작에 상당한 시간이 소요되고 있으며, 특히 수목에 가려져 항공사진상에 나타나지 않은 산악지의 지면을 정확히 묘사하는 데에는 한계가 존재한다고 제시하였다(이동천과 염재홍, 2005; 위광재 등 2007).

강준목 등(2007)과 위광재 등(2007)은 갱신주기가 수년에 이르는 수치지도의 등고선을 항공레이저측량으로 획득한 라이다 데이터를 이용하여 산악지형의 정밀한 지형을 등고선으로 표현할 수 있으며, 기존 수치지도 등고선에 비하여 최신성 및 현시성을 충족시킬 수 있다고 하였다.

라이다 데이터로 취득한 정밀한 지형에 대한 높은 점밀도는 등고선 제작 시에 과다한 점으로 인하여 절점(vertex)이 많아지고 데이터 용량이 급격히 증가하여 일반적인 사용에 어려움이 있다. 높은 레이저 주사율은 정밀한 지형을 표현하기에 유리하나, 등고선 제작에는 비효율적이므로 적절한 필터링이 요구된다(김은영과 한성만, 2008).

필터링은 Level 1에서 Level 4까지 임계치에 따라 단계별로 제작될 수 있다. Level 1은 원시지형데이터를 그대로 사용한 결과이며 Level 4는 현행 수치지도와 가장 유사한 결과이다.

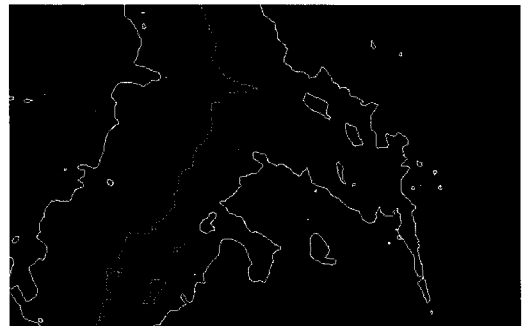
이러한 지능적인 필터링이 적용된 등고선은 정확하고 경제적인 설계를 가능케 하는 새로운 방법이며 그 수요가 확대될 전망이다.

## 2. 현행 등고선의 문제점

현재 1:5,000 수치지도의 등고선은 아날로그 방식으로 도화사가 사진 상에서 지형의 기복을 묘사하고 있으나 인위적 및 자연적 등의 요인에 의하여 품질에 대한 일관성 및 정확성이 미흡한 실정이다(이선근 등 2007; 이현직 등 2008). 일부 산악지역은 불규칙한 자연지형으로 인하여 수치지도 등고선의 정확도가 실제 위치와 상당한 오차를 가지고 있다. 또한 작업 진행과정에 대한 정량적 검토가 어렵고 나무 높이에 대한 정확한 보정이 없어 지형의 높이정보 구축에 한계를 가지고 있다. 이로 인하여 각종 SOC 설계 시에 토공량 산출 및 설계·시공측량, 산 높이결정 등에 문제로 대두되고 있다.

## 3. 필터링 알고리즘 개발

지형이 복잡한 형태를 가진 산악지역의 등고선은 현행 항공사진측량에서 사진 상의 판단이 불가능하여 사용자의 요구 정확도를 확보하지 못하는 한계를 가지고 있다. 반면에 투과율이 우수한 항공레이저측량에서 획득된 지형은 최근 많은 연구와 논문을 통하여 등고선의 제작 가능성과 정확성이 검증되었다. 지형의 실제높이를 그대로 표현하는 정밀성은 뛰어나나, 정밀한 지형에 대한 등고선의 절점 증가로 인하여 용량이 비효율적으로 증가함에 따라 그 활용은 기대에 미치지 못하고 있다. 이에 지형의 형태를 그대로 표현하면서 등고선의 용량은 최소화하는 필터링 방법이 요구되고 있다. 그림 1은 필터링 전과 후의 등고선으로 필터링의 필요성을 보여주고 있다.



(a) 필터링 전



(b) 필터링 후

그림 1. 라이다 등고선 필터링의 필요성

라이다 데이터에 의한 등고선 제작 시 용량이 증가하는 원인 중 하나는 불필요한 절점의 증가에 있다. 이는 정밀한 DEM 제작에는 용이하나, 등고선 제작에는 비효율적이다. 정밀한 라이다 데이터에 의해 등고선을 제작할 때 점밀도가 너무 높으면 불필요한 절점의 증가로 인해 데이터 용량이 커지며, 반대로 점밀도가 너무 낮으면 세밀한 지형표현이 어려워 등고선이 단순해진다. 이에 지형 데이터를 적절히 필터링하여 지능적으로 점밀도를 감소시켜 등고선을 제작할 수 있도록 알고리즘을 개발하였다.

### 3.1 지형데이터 분류

정확한 등고선 추출을 위하여 수목과 인공지물을 제거한 순수한 지형 데이터를 분류하는 작업을 선행하여 실시하였다. 지형 데이터를 분류하는 과정은 초기 최저점 선정 후, 이웃하는 점들을 반복 루틴으로 점간의 각(angle)과 거리(distance)를 계산하여 설정된 변수 내에 만족되면 지형으로 분류되는 방법이다(그림 2 참조).

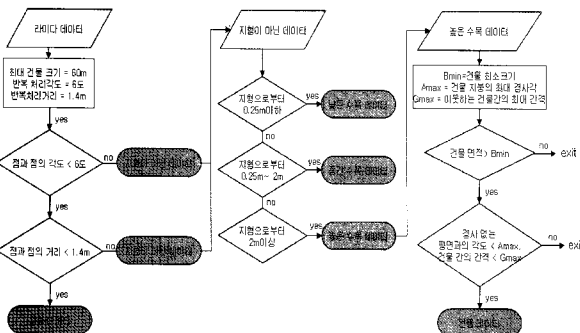


그림 2. 지형, 수목, 건물 데이터 분류 알고리즘

### 3.2 단계별 필터링 알고리즘

분류된 지형 데이터의 필터링 방법은 등고선을 생성하기 위한 최적의 점을 선택하는 것으로 등고선 도형이 갖는 높이에서 멀리 위치한 점을 우선적으로 추출한다. 이는 등고선과 비슷한 높이의 점에 의한 도형의 복잡화를 줄이고 절점의 양을 감소시키기 위함이다.

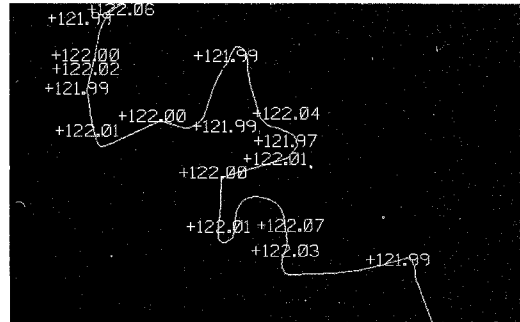


그림 3. 등고선 주변의 라이다 점 분포

필터링에서 기록이 없는 평지는 동일한 평면위치의 비슷한 높이의 점들을 제거하고, 기록이 심한 산악지는 지형을 표현하는 최소한의 점만 남긴다. 원시 지형 데이터에서 지형의 경사를 고려하고 단계별로 필터링을 적용한 결과 84%에서 최대 99%까지 점의 수가 감소하였다.

과감한 점의 필터링이 가능한 것은 원시데이터의 점밀도가 높기 때문이며 등고선을 표현하는 최소한의 점의 추출이 가능한 것이다.

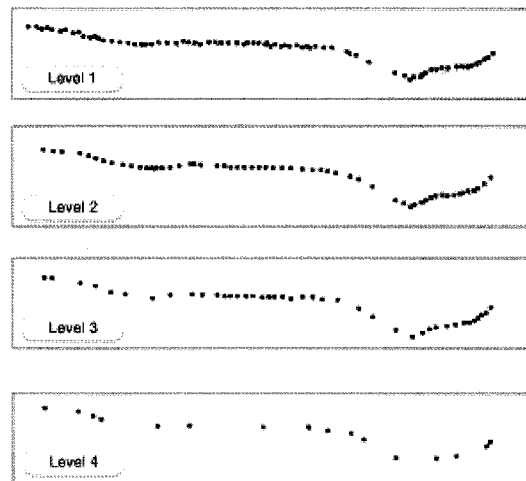


그림 4. 지형 데이터의 단계별 필터링 결과

필터링 되기 전과 후의 지형 데이터에서 볼 수 있듯이 필터링 된 데이터는 TIN surface를 생성하여 비교한 결과, 지형을 표현하는데 문제가 없었다. 이는 그림 5의 등고선을 직접 제작하여 확인할 수 있었다.

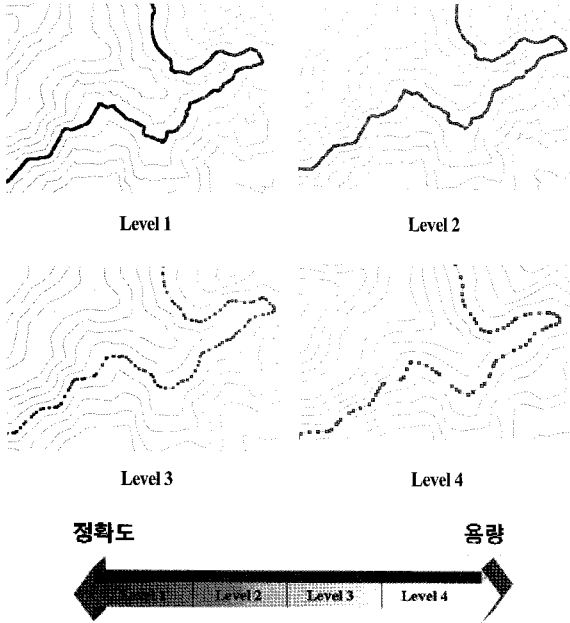


그림 5. 등고선의 단계별 필터링 결과

필터링을 적용한 등고선은 축척 1:5,000 수치지도 1도엽을 기준(dx)으로 용량을 비교하였다(표 2 참조). 점의 수가 감소함에 따라 선의 모양도 단순화되는 것을 확인하였다. 총 4단계의 Level 1에서 Level 4까지로 단계를 구분하였으며, Level 1은 원시 지형 데이터 그대로이며 단계가 높아질수록 필터링 임계치가 높아진다(Arefi etl 2005, CHEN Z etl 1987).

- Level 1 = f(upperDz = 0, downDz = 0)
- Level 2 = f(upperDz = 0.1m, downDz = 0.1m)
- Level 3 = f(upperDz = 0.2m, downDz = 0.2m)
- Level 4 = f(upperDz = 0.3m, downDz = 0.3m)

필터링을 적용한 지형 데이터와 원시 지형데이터의 높이 차이는 최대 16cm까지 나타났다. 이는 선의 단순화 결과가 미치는 영향이 지도의 높이 정확도 이내로 존재하여 정확성을 보존하는 필터링임을 확인할 수 있었다.

표 1. 지도의 높이 정확도

구분(축척)	표고점	등고선
1/1,000	33m	50m
1/5,000	1.7m	2.5m

Level 1은 원시 지형 데이터를 그대로 사용하였기 때문에 정확도에 비중에 둔 결과로 설계 시 종횡단면도 및 홍수지도제작 등 정밀한 분석에 사용될 것이며 Level 4는 국가기본도와 같은 지도제작 시에 효과적이다.

표 2. 단계별 필터링의 정량적 결과 (1:5,000 수치지도 1도엽기준)

단 계	점의 수	필터링전과의 차이	용량
Level 1	3,649,298	0cm	100mb
Level 2	598,410	3.0cm	40mb
Level 3	71,407	11.0cm	14mb
Level 4	25,484	16.0cm	8mb

표 2에서 보는바와 같이 단계별로 점의 수가 감소하면서 데이터 용량도 현저히 감소하였다. Level 4는 수치지도와 가장 유사하여 현행 작업환경에서 쉽게 사용할 수 있는 용량으로 다양하게 활용 될 수 있다.

라이다데이터는 등고선을 생성함에 있어서 디지털 형태의 자동화된 방식으로 처리된다. 이는 현행 항공사진 측량 도화방식의 수작업과 차별화되어 정확도의 균질성과 세밀한 지형의 표현이 가능하다는 것이다. 따라서 본 연구에서의 균질한 지능적인 필터링은 정확도를 확보하는 안전한 등고선 제작 방안이라고 판단된다.

## 4. 적용

### 4.1 연구지역

본 연구의 적용을 위하여 선정된 연구지역은 그림 6과 같이 국토지리정보원에서 수행한 경남 하동지구「1:5,000 수치지도 등고선 제작사업」의 결과 중 일부이다. 사용된 데이터는 국토지리정보원의 협조를 통해 성과 일부를 제공받아 이루어졌다.

실험자료는 1:5,000 4도엽으로 면적은 약 25km<sup>2</sup>이다. 항공레이저측량 일자는 2008년 10월이며 촬영고도는 1,500m~2,000m이다. 획득된 원시데이터의 점밀도는 m<sup>2</sup>

당 3~4점이다.

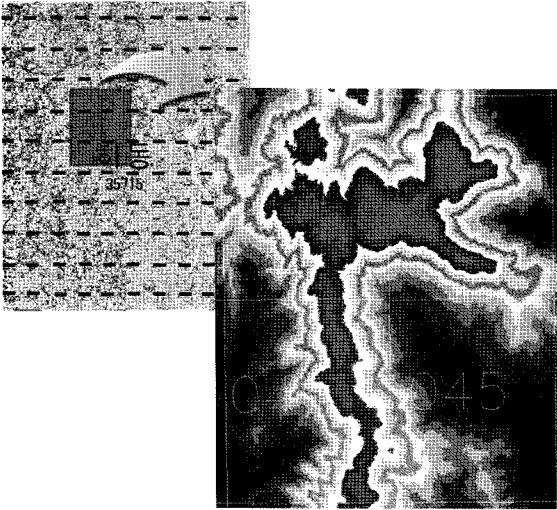


그림 6. 연구지역(하동군)

연구지역에 대하여 지형데이터를 분류하고, 정표고로 보정한 후, 품질확보를 위하여 표 3과 같이 검사점 측량 성과(10점)와 높이 차이를 비교하였다. 그 결과 평균제곱근오차(RMSE)가 약  $\pm 0.11\text{m}$ 로 확인되었다.

표 3. 검사점 측량성과와 비교

No	검사점 측량성과			라이다 지형	높이 차이
	X 좌표	Y 좌표	정표고(H)		
1	186500.73	279100.17	171.40	171.52	0.13
2	185223.52	279421.16	175.72	175.77	0.05
3	185387.78	279486.83	191.26	191.38	0.12
4	184991.04	279173.16	192.39	192.52	0.14
5	184903.20	279527.77	169.17	169.16	-0.01
6	182823.71	278008.73	192.43	192.54	0.11
7	182765.67	277957.57	212.12	212.22	0.10
8	182967.74	279035.19	183.20	183.31	0.11
9	183171.67	279662.66	156.65	156.73	0.08
10	181879.70	279169.74	177.92	178.00	0.08
평균제곱근오차(RMSE)					0.11
표준편차					0.04

## 4.2 시범제작

정확도가 확보된 지형데이터에 대하여 개발된 필터링 알고리즘을 적용하였다. 분류된 지형 데이터의 개수는 9,144,824이었으며, Level 4 기준으로 필터링을 적용한 결과, 점의 개수는 91,011로 약 10분의 1이 감소하였다.

필터링 된 지형 데이터로 TIN surface 모델을 생성하고 5m 간격의 등고선을 그림 8과 같이 시범 제작하였고, 그림 7은 실험지역에 대한 1:5,000 수치지도 등고선이다.

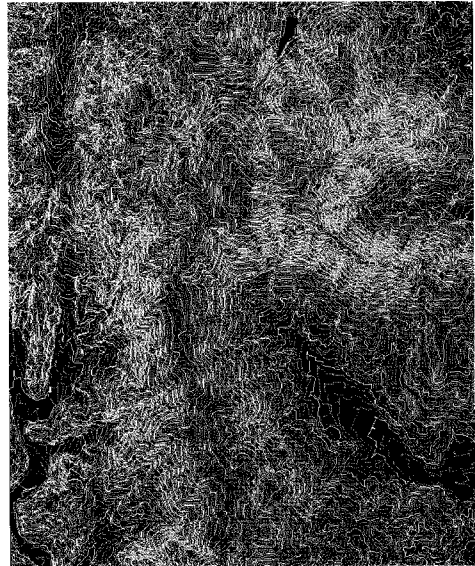


그림 7. 연구지역의 수치지도(1:5,000)

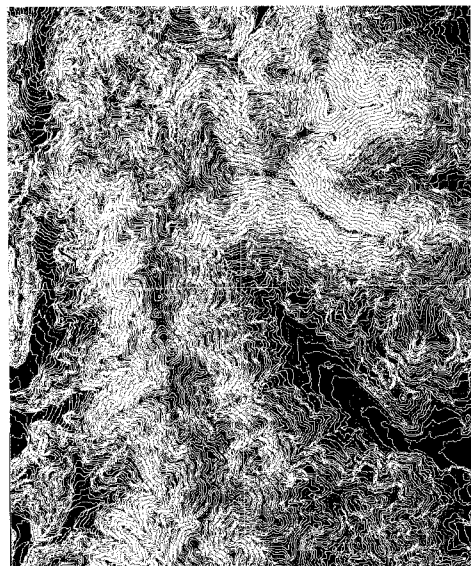


그림 8. 연구지역의 라이다 등고선

## 5. 평가

도엽별로 제작된 라이다 등고선과 기 구축된 수치지도(2003)를 표고점과 등고선의 단면도를 통해 높이를 비교하고, 데이터의 용량을 비교하였다.

### 5.1 표고점

표고점 비교를 위하여 그림 9와 같이 A~D까지 4개 지역을 선정하고 도형의 육안 비교와 높이 차이를 비교 평가하였다.

그림 10과 같이 등고선의 도형은 유사하나, 높이 차이에서 평균 -0.83m, 표준편차 1.28m의 차이를 보였다. 특히, 항공사진의 판단이 어려운 산지의 계곡부에서 차이가 더 크게 나타났다(표 4 참조).



그림 9. 표고점 비교지역

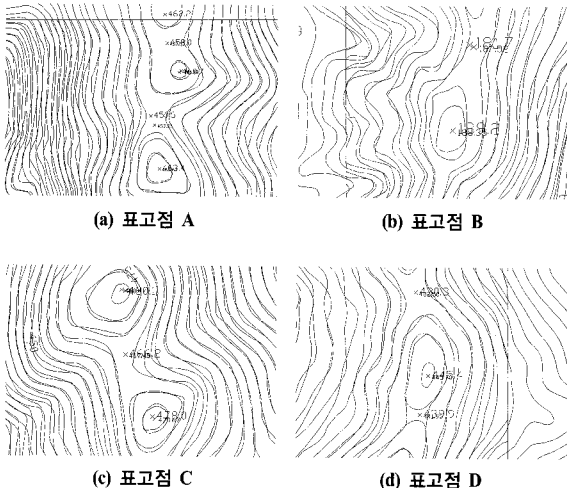


그림 10. 수치지도(black)와 라이다(red) 표고점 도형비교

표 4. 표고점 차이비교

수치지도(m)	라이다(m)	표고차이(m)
458.00	457.57	0.43
460.70	461.98	-1.28
450.50	452.50	-2.00
463.40	463.67	-0.27
181.70	182.52	-0.82
189.20	188.35	0.85
480.10	480.47	-0.37
466.20	467.45	-1.25
478.00	478.67	-0.67
430.30	432.50	-2.20
445.40	445.70	-0.30
439.90	441.95	-2.05
평균		-0.83
표준편차		1.28

### 5.2 등고선

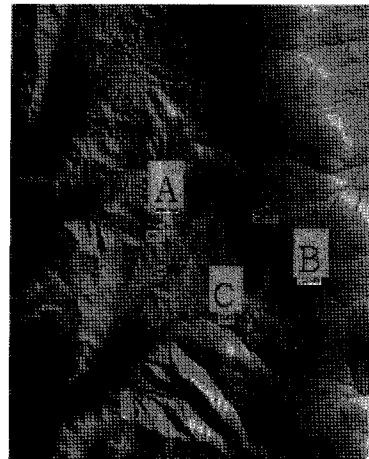
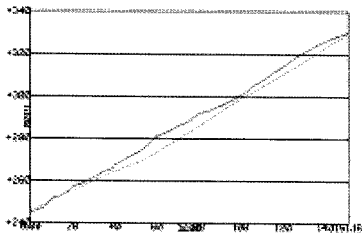
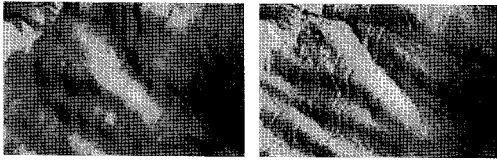


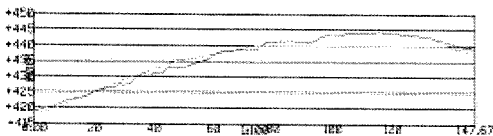
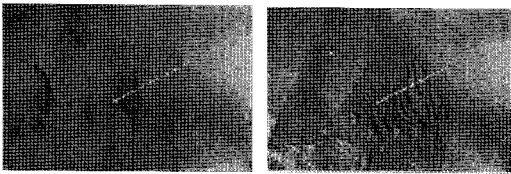
그림 11. 등고선 비교지역

그림 11과 같이 수치지도에서 추출한 표고점과 등고선을 이용하여 TIN surface를 만들고 라이다의 지형데이터를 이용하여 TIN Surface를 생성하여 각각 단면도를 작성해 비교해 보았다(그림 12 참조). 항공사진에 의해 제작된 수치지도는 라이다에 의해 제작된 등고선에 비

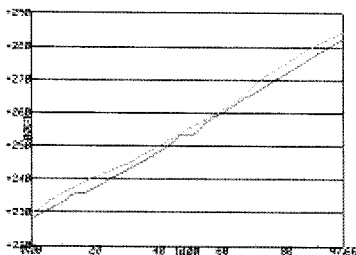
해 세밀한 지형 표현이 되지 않아 높이값에서 차이가 발생하였다. 특히 수목 하단의 복잡한 지형을 표현하는데 차이를 보였으며, 표 5에서 보듯이 등고선의 높이값에서 현저히 차이를 보였다. 최대 3.22m에서 최저 -7.46m의 높이 차이를 보였다.



(a) 등고선 단면도 A



(b) 등고선 단면도 B



(c) 등고선 단면도 C

그림 12. 수치지도(orange)와 라이다(red)등고선 도형비교

표 5. 등고선 단면도 비교

단면도 No	수치지도	라이다	차이	
A	No20	255.41	256.69	-1.27
	No40	264.41	267.22	-2.81
	No60	273.61	281.07	-7.46
	No80	285.89	291.76	-5.87
	No100	298.80	300.76	-1.97
	No120	310.42	314.02	-3.60
	No140	323.06	325.86	-2.80
B	No20	424.91	425.17	-0.25
	No40	432.45	430.94	1.51
	No60	437.25	437.05	0.21
	No80	440.00	441.28	-1.28
	No100	440.00	443.67	-3.67
	No120	440.00	444.01	-4.01
	No140	440.00	440.71	-0.71
C	No20	240.65	237.43	3.22
	No40	250.09	248.17	1.91
	No60	260.79	260.13	0.66
	No80	275.14	272.02	3.12
분석	평균		-1.39	
	표준편차		3.26	

### 5.3 데이터 용량

수치지도 등고선과 라이다 등고선의 용량을 도엽별로 비교한 결과는 표 6과 같다. 기존 수치지도 보다 데이터 용량이 커진 것은 산지가 대부분인 지역으로 상세한 지형 표현에 기인한 결과로 판단된다. 기존 수치지도에 비해 데이터 용량이 약 12%에서 최대 48%까지 증가하였

표 6. 데이터용량 비교(단위:mb)

도엽번호	수치지도 등고선도	라이다 등고선도
35716034	6.64	12.46
35716035	6.56	12.60
35716044	7.40	11.85
35716045	6.67	7.59

으나, 필터링 전단계의 등고선에 비해 가벼운 등고선으로 수치지도와 같이 사용 될 수 있을 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

국내의 라이다 데이터 활용이 증가하면서 GIS 및 건설, 환경 분야 등에서 사용자 맞춤 형식으로 데이터가 가공되고 있다. 그러나 라이다 데이터의 특성을 정확히 알고 다양한 분야에 응용되는 부분은 국외에 비해 다소 늦어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 현행 수치지도 등고선보다 정확하면서 용량과 형상은 비슷한 형태를 갖는 라이다 등고선을 효과적으로 제작하는 필터링 기법을 개발하고 적용해 보았다. 그 결과 정밀한 지형 데이터를 단계별로 필터링하여 정확도는 유지하면서 데이터의 용량을 최소화한 라이다 등고선을 제작할 수 있게 되었다.

항공레이저측량에서 획득된 원시데이터로부터 분류된 지형데이터를 검사점 측량성과와 비교한 결과 0.11m의 오차로써 현행 수치지도의 등고선 높이 정확도인 2.5m보다 우수한 결과를 확인하였다. 이렇게 정확도가 확보된 지형데이터를 이용하여 본 연구에서 개발한 필터링을 적용한 결과, 84%~99%까지 점의 수가 감소하였다. 단계별로 감소되는 범위에 따라 4단계로 Level 1에서 Level 4로 구분하여 등고선을 제작하였으며 Level 1은 원시지형데이터를 모두 사용하였고 Level 2는 최대, 최소 허용치가 0.1m, Level 3은 최대, 최소 허용치가 0.2m, Level 4는 최대, 최소 허용치가 0.30m로 등고선을 생성하였다. 그 결과 Level 4가 현행 수치지도와 도형 및 용량이 가장 유사하였다.

라이다 데이터로 생성된 등고선을 현행 수치지도(표고점과 등고선)와 비교한 결과 표고점에서 평균 0.83m의 차이를 등고선에서 평균 1.39m의 차이를 보였다. 앞에서 측량성과와 비교한 라이다데이터의 정확성을 고려하면 현행 수치지도에 비해 높은 정확도가 확보된 등고선임을 확인하였다. 또한 라이다 등고선의 데이터 용량이 8mb에서 12mb로 제작되었으며 현행 수치지도보다 용량이 커진 도엽도 있으나, 이는 상세한 산지의 지형표현으로 현행 설계 프로그램 등에서 사용하기에 어려움이 없을 것으로 판단된다.

이러한 항공레이저측량의 라이다 데이터는 디지털 방식으로 광범위한 지역의 등고선을 현행방법보다 정확하게 구축할 수 있도록 하며, 특히 필터링 된 용량의 정확한 라이다 등고선은 건설, 산림, 수자원 등 다양한 분야에서 효율적으로 활용할 수 있을 것으로 보인다.

## 참고문헌

강준목, 윤희천, 이진덕, 박준규 (2007), 항공 LiDAR 측량에 의한 수치지도 제작의 경제성 분석, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제 15권, 제 1호, pp. 67-73.

김은영, 한성만 (2008), 식생밀도분포 및 등고선의 단계별 필터링에 관한연구, 공동추계학술대회 논문집, 한국GIS학회, pp. 21-25.

이동천, 염재홍 (2005), LiDAR데이터를 이용한 수치지도의 건물 및 등고선 레이어 생성, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 23권, 제 3호, pp. 323-322.

이선근, 이동천, 염재홍, 임새봄, 김계림 (2007), 수치지도 등고선의 Model Key Point 추출과 Progressive Sampling에 의한 수치지형모델 생성, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 25권, 제 6-2호, pp. 645-654.

이현직, 박은관, 유지호 (2008), 친환경 도로 설계를 위한 항공레이저측량 데이터의 활용, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 26권, 제 3호, pp. 255-262.

위광재, 조재명, 이임평, 강인구 (2007), LiDAR 데이터를 이용한 등고선 제작의 효율성 평가, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제 15권, 제 2호, pp. 59-66.

Arefi. H, Hahn. M. A, (2005), Morphological Reconstruction Algorithm for Separating Off-Terrain Points From Terrain Points in Laser Scanning Data, *ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop*, pp. 120-125

CHEN Z, GUEVARA J.A, (1987), Systematic selection of very important points(VIP) from digital terrain model for constructing triangular irregular networks, *In Eighth International Symposium on Computer-Assisted Cartography - Auto-Carto 8, Baltimore, Maryland, USA, Proceedings*, pp. 50-56.

(접수일 2009. 7. 15, 심사일 2009. 8. 19, 심사완료일 2009. 8. 24)