

# 수치지도 등고선의 Model Key Point 추출과 Progressive Sampling에 의한 수치지형모델 생성

## Generation of Progressively Sampled DTM using Model Key Points Extracted from Contours in Digital Vector Maps

이선근<sup>1)</sup> · 이동천<sup>2)</sup> · 염재홍<sup>3)</sup> · 임새봄<sup>4)</sup> · 김계림<sup>5)</sup>

Lee, Sun Geun · Lee, Dong Cheon · Yom Jae Hong · Lim, Sae Bom · Kim, Kye Lim

### Abstract

In general, contours in digital vector maps, which represent terrain characteristics and shape, are created by 3D digitizing the same height points using aerial photographs on the analytical or digital plotters with stereoscopic viewing. Hence, it requires lots of task, and subjective decision and experience of the operators. DTMs are generated indirectly by using contours since the national digital maps do not include digital terrain model (DTM) data. In this study, model key points which depict the important information about terrain characteristics were extracted from the contours. Further, determination of the efficient and flexible grid sizes were proposed to generate optimal DTM in terms of both quantitative and qualitative aspects. For this purpose, a progressive sampling technique was implemented, *i.e.*, the smaller grid sizes are assigned for the mountainous areas where have large relief while the larger grid sizes are assigned for the relatively flat areas. In consequence, DTMs with multi-grid for difference areas could be generated instead of DTMs with a fixed grid size. The multi-grid DTMs reduce computations for data processing and provide fast display.

Keywords : Digital vector map, Contour, DTM, Model key point, Progressive sampling

### 초 록

일반적으로 수치지도의 등고선은 항공사진을 해석 및 수치 도화기 상에서 입체시 하여 동일한 높이의 점들을 3차원으로 측정하고 도화하여 생성되므로 등고선 도화는 작업량이 많고 도화사의 주관적인 판단과 경험에 의해 결정된다. 그러므로 지형의 형태와 특성을 묘사하는 등고선의 도화는 도화사의 풍부한 경험이 요구된다. 또한 국내의 수치지도는 수치지형모델(DTM) 데이터를 포함하고 있지 않으므로 DTM이 필요한 경우 대부분 등고선 데이터로부터 간접적으로 생성한다. 본 연구에서는 지형의 특성에 대한 중요한 정보를 포함하고 있는 model key point를 등고선에서 추출하고 이를 기반으로 지형적 특성을 고려하여 DTM의 격자간격을 효율적이고 융통적으로 조절하여 정량적 및 정성적인 측면에서 최적의 데이터를 이용하여 DTM을 생성하는 방법을 제안한다. 이를 위하여 progressive sampling 기법을 적용하여 지형이 복잡하여 기복이 큰 산악지역에는 격자간격을 작게 하고 지형이 완만한 지역은 격자간격을 상대적으로 크게한다. 그러므로 고정된 하나의 격자간격을 사용하지 않고 지역별로 서로 다른 격자간격을 가지는 다중격자 DTM을 생성하였다. 다중격자 DTM은 용량이 최적화되어 계산량이 적고, 신속한 디스플레이 할 수 있는 장점이 있다.

핵심어 : 수치지도, 등고선, DTM, Model key point, Progressive sampling

- 1) 세종대학교 공과대학 지구정보공학과 석사과정(E-mail:sglee@sju.ac.kr)
- 2) 연결저자 · 정회원 · 세종대학교 공과대학 지구정보공학과 교수(E-mail:dclee@sejong.ac.kr)
- 3) 정회원 · 세종대학교 공과대학 지구정보공학과 교수(E-mail:jhyom@sejong.ac.kr)
- 4) 정회원 · 세종대학교 공과대학 지구정보공학과 석사과정(E-mail:sblim@sju.ac.kr)
- 5) 세종대학교 공과대학 지구정보공학과 석사과정(E-mail:klkim@sju.ac.kr)

## 1. 서 론

DTM은 규칙적인 격자망(regular grid) 또는 불규칙 삼각망(TIN)을 기반으로 지표면의 고도 데이터를 이용하여 지표면을 3차원으로 표현하는 방법으로 지상측량 데이터, 항공사진측량, 레이저 스캐너(LiDAR) 데이터 및 지도의 등고선 데이터 등을 이용하여 생성된다. 등고선을 이용하는 방법은 간접적으로 DTM을 생성하는 방법으로서 수치지도의 경우 등고선을 도화시 축점한 점(vertex)들의 평면좌표 값과 이에 해당하는 등고선의 표고좌표 값으로 각 축점의 3차원 좌표값을 획득하여 격자형 또는 불규칙 삼각망 DTM을 생성하게 된다. 등고선은 주로 항공사진을 입체 시각화하여 도화사가 지형적 특성과 형세를 고려하여 수동으로 동일한 높이의 점들을 3차원 디지털화하여 생성되므로, 최적의 지형적인 특성(geomorphology)을 묘사하기 위한 도화를 위해서는 많은 경험과 작업량이 요구된다(Laurini, R., 1998).

직접 DTM을 생성하는 방법 중에서 주로 많이 사용되는 방법으로는 항공사진과 LiDAR 데이터를 이용하는 방법이 있다. 항공사진의 경우 입체시를 통하여 등고선을 생성하는 대신에 해석도화기를 이용하여 수동으로 격자형 sampling, profile sampling, geomorphological sampling 등으로 DTM을 생성할 수 있으며, 디지털 영상과 수치도화기를 이용하여 영상매칭기법으로 격자형 DTM을 자동으로 생성할 수 있지만, 영상매칭의 기술적인 한계로 자동으로 정확한 DTM을 생성하는 것은 제약을 받는다. 최근에는 정밀 3차원 데이터 획득이 가능한 레이저 스캐너로부터 획득한 LiDAR 데이터로부터 정확한 DTM을 생성할 수 있게 되었다(Gamba, 2000; 이동천 등, 2005).

효율적인 DTM은 그 지역의 지형학적 특성(geomorphological property)을 포함하는 최적의 지형공간 데이터를 사용하여 생성되어야 한다. 그러나 대부분의 경우 일률적인 데이터 획득과 처리방법을 적용하고 있으며, 데이터 간의 간격에 의하여 DTM의 품질이 결정되고 있다(임영빈 등, 2005; Wechsler & Kroll, 2006). 격자간격이 전 지역에 대해 일정한 경우에는 평탄한 지역에 필요 이상으로 많은 데이터 점이 포함되거나, 기복이 큰 복잡한 지형에는 상대적으로 데이터가 부족할 경우가 발생할 수 있는 단점이 있다. 그러므로 지형의 특성을 유지하면서 평지 지역에서는 데이터의 간격을 늘리고, 지형의 기복변화가 심한 지역에서는 간격을 줄임으로써 지형을 효과적으로

표현하면서 전체적인 데이터를 양적 및 질적으로 최적화할 수 있다(Burrough 등, 1988).

본 연구에서는 지형의 특성을 대표하는 데이터를 적절히 사용하여, 지형적 특징을 국지적으로 나타낼 수 있는 최적의 데이터 간격으로 DTM을 생성하는 것이 합리적이다. 이를 위해서 지형적으로 의미가 있는 중요한 점인 model key point를 추출하고, progressive sampling 기법을 적용하여 지형의 특성이 다른 지역에 따라 효과적으로 격자간격을 다르게 설정한 다중격자 구조의 DTM을 생성하는 방법을 제안하였다. 또한 수치지도의 원래 등고선과 model key point로 생성된 등고선을 비교 분석하였으며, progressive sampling에 의해 DTM을 생성하여 고정 격자간격의 DTM과 비교하여 데이터 크기의 감소량을 분석하였다.

## 2. 연구 대상지역의 지형적 특성

연구 대상지역은 서울시 남산주변이며, 1:1,000 축척의 수치지형도를 사용하였다. 수치지형도의 등고선 레이어의 1m 간격의 주곡선(Layer No. 7111)과 5m 간격의 계곡선(Layer No. 7114)에 대하여 model key point를 추출하고 이를 기반으로 progressive sampling 기법을 적용하여 다중격자 구조의 DTM을 생성하였다.

연구 대상지역의 지형적 특성으로는 평면과 산지를 포함하고 있으며, 독립된 야산으로 주변 도로로부터 정상까지의 경사는 비교적 완만한 편이며, 경사기복이 큰 지역과 경사가 상대적으로 완만한 지역까지 포함하고 있어 DTM 생성 시 뚜렷한 지형의 형태를 구별할 수 있다. 그림 1은 연구 대상지역의 1:1,000 수치지도를 보여주고 있다.

## 3. 등고선과 Model Key Point

### 3.1 수치지도의 등고선

수치지도의 등고선은 항공삼각측량에 의한 입체 항공사진을 사용하여 도화기로 입체시각화 하여 전체적인 지형과 국지적인 지형의 특성을 감안하여 도화규정에 따라 동일한 높이 데이터를 추출하여 생성한다. 등고선은 지형의 특성을 효과적으로 반영하여 표현하여 그 지역의 특성을 나타내어야 하므로, 수치지형도 제작을 위한 도화과정 중 등고선 생성은 많은 경험이 요구되며 가장 어려운 작업으로 작업량이 많다(유근홍, 2007).

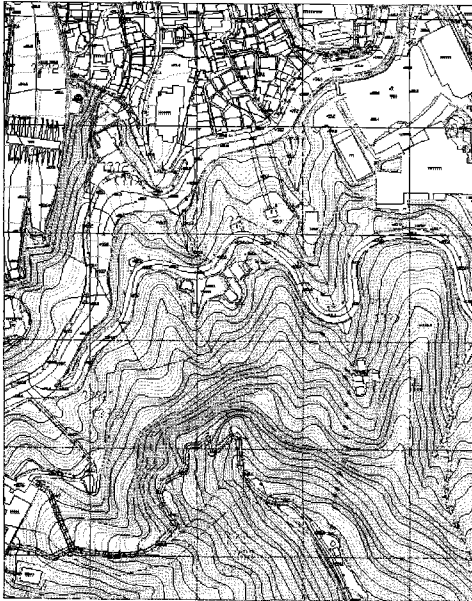


그림 1. 연구지역의 수치지도(축척, 1:1,000)

등고선 생성을 위해 필요한 측정점은 지형의 변화가 뚜렷이 발생하는 지점으로써 지형의 변화가 큰 산악지역 또는 복잡한 지형에서는 측정점간의 간격이 작고, 지형의 변화가 작거나 완만한 지역에서는 측정점간의 간격이 크다. 그러므로 관측자인 도화사의 주관적 판단 및 경험에 생성된 등고선의 결과에 영향을 미치게 된다.

### 3.2 Model Key Point 추출

Model key point는 객체를 나타내기 위해서 필수적인 대표적인 점으로써 기하학적으로는 객체의 특성적 변화가 발생하는 지점을 나타낸다. 등고선에서는 지형의 변화가 발생하는 지점 즉 등고선 생성을 위해 측정한 점들이 model key point가 될 수 있다(Clarke, 1990). 지형 데이터에서 model key point 추출은 영상에서 객체의 특성을 분석하거나 영상정합에 활용하기 위하여 밝기값이 급격하게 변하는 특이점(interest point, 예: 건물의 외곽점, 도로의 교차점 등)을 추출하는 원리와 유사하다(Haralick & Shapiro, 1992). 그러나 수치지도 제작시 등고선 축점은 도화기 상에서 주로 stream mode로 디지털화되므로, 지형의 특성을 나타내는 필수적인 점 이외에 과도한 점들을 측정하게 된다(김계현, 2000). 그러므로 그림 2에서 보여주는 것처럼 등고선에는 model key point 이외에 많은 점이 측정되어 점의 좌표값들이 포함된다.

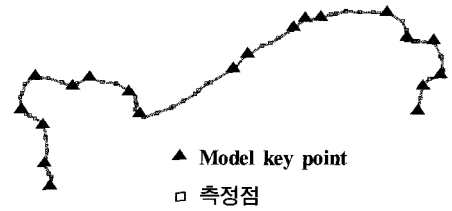


그림 2. 등고선 생성에 사용된 측정점과 model key point

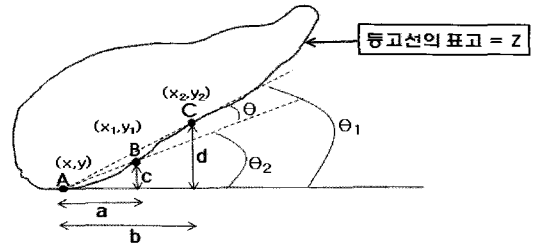


그림 3. 등고선의 측정점간의 거리와 각을 기준으로 model key point 추출

등고선상의 측정점간의 거리와 지형의 변화를 고려하여 지형적 특성을 최대한 유지하고 묘사할 수 있는 대표적인 점을 추출하여 model key point를 결정한다. 그러므로 추출된 model key point로 생성된 등고선은 불필요하게 과도 측정된 데이터를 제거함과 동시에 최적의 데이터로 구성되어 있다. 즉 model key point인 특정점을 추출하여 적은 수의 데이터로 효과적으로 등고선을 나타낼 수 있다. 수치지도의 등고선 레이어에서 추출한 등고선 측정점 데이터에서 점들 간의 거리와 각을 기준으로 model key point를 추출하였다. 각의 변화가 큰 점은 지형의 변화가 발생하는 부분이므로 이런 점들은 model key point로 추출된다.

그림 3에서 보 model key point 추출시 고려된 거리와 각은 측정점들 간의 거리와 기울기를 이용하여 다음과 같이 계산한다.

$$AC = \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2} \quad (1)$$

$$a = x_1 - x, b = x_2 - x \quad (2)$$

$$c = z_1 - z, d = z_2 - z \quad (3)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{d}{b}\right), \theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{c}{a}\right) \quad (4)$$

$$\theta = \theta_2 - \theta_1 \quad (5)$$

위의 식에 의하여 구해진 거리와 각에 대하여 임계값을 설정하여 두 가지 조건을 만족하는 측정점을 추출하여 model key point로 지정한다. 예를 들어 거리의 임계값을 0.5m, 각의 임계값을 60°로 설정한 경우에는, 0.5m 이하의 거리차이를 가지고 동시에 60° 이하의 각 차이를 가지는 점은 제거하고 이 임계값을 초과하는 점들을 model key point로 추출한다.

#### 4. Progressive Sampling 방법에 의한 DTM 생성

일반적으로 격자형 DTM은 고정된 일정한 간격으로 격자를 형성하여 DTM을 생성하는 반면에 progressive sampling에 의해 생성된 DTM은 지형의 특성에 따라 지역별로 서로 다른 격자간격을 가지고 있다. 격자형 DTM의 경우 progressive sampling 방법은 각각의 격자를 구성하는 격자점에서의 높이값을 비교하여, 높이값의 변화가 크게 발생하면 격자 크기를 작게하고, 반대로 높이값의 변화가 작으면 격자 크기를 크게하여 지형을 효과적으로 표현하는 방법이다. 그러므로 지형에 따라 서로 다른 격자크기를 가지는 다중격자 형태의 DTM을 생성하게 되어 정량적으로나 정성적인 데이터로 효율적으로 지표면을 묘사 할 수 있다(국토지리정보원, 2006; To, 2001).

본 연구에서는 격자형 데이터 형태의 지형표고 데이터가 아닌 수치지도의 등고선으로부터 추출한 model key point를 사용하여 DTM을 형성하는 방법을 목적으로 하고 있으므로, 기존의 progressive sampling 기법을 기반으로 새로운 알고리즘을 개발하여 적용하였으며, 그림 4와 그림 5에서 요약적으로 설명하고 있다.

추출된 model key point를 기반으로 quad-tree 구조의

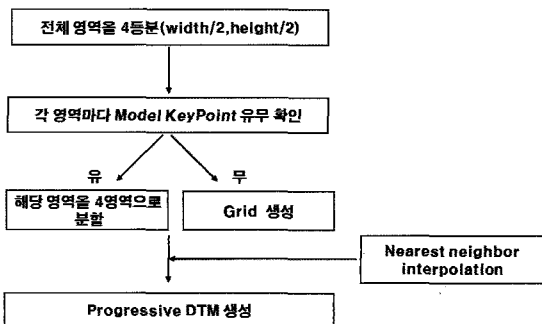


그림 4. Progressive sampling에 의한 DTM 생성 방법

4분할 격자를 반복적으로 형성하여 다양한 격자크기를 가지는 다중 격자크기의 DTM을 생성한다. 이를 위하여 우선 전체 영역을 4개의 영역으로 분할(가로와 세로를 2등분)하고, 분할된 영역에 대하여 model key point의 유무를 확인하여 model key point가 존재하는 영역은 다시 4개의 작은 영역으로 분할한다. 이와 같은 과정을 model key point가 존재하지 않을 때까지 반복 수행한다. Model key point가 존재하지 않은 영역은 격자를 분할하지 않고 현 상태의 격자크기를 유지한다. Model key point의 유무 결정시 만일 model key point가 분할 경계선 상에 위치할 경우에는 model key point가 접하는 모든 영역에 데이터가 존재하는 것으로 간주하여 경계선에 접한 좌우 또는 상하 영역에 대해 분할하였다. 또한 model key point가 4분할 선의 교차점에 위치할 경우에는 인접한 4개의 영역을 다시 4분할 하였다. 최소의 격자크기는 사용자가 미리 지정한다.

최종적으로 이와 같이 생성된 다양한 크기의 격자점에 표고값을 지정하기 위하여 보간법을 사용하였다. 본 연구에서는 그림 6에서 설명하고 있는 nearest neighbor법을 적용하였다. 여러 가지 보간법이 있으나, 본 연구의 목적은 최적의 보간방법 적용에 대한 연구가 아니고 model key point추출과 이를 기반으로 progressive sampling 기법으로 형성된 다중 격자크기의 DTM 생성이므로, 특정 보간법의 선택은 큰 의미가 없다.

그림 6에서와 같이 각 격자점과 model key point들 간

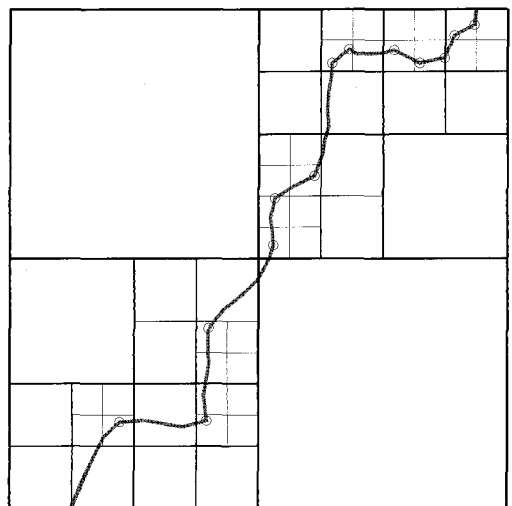
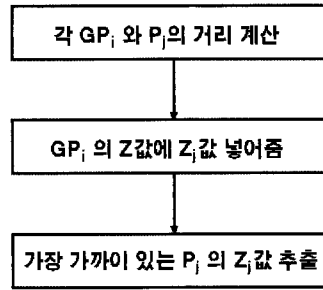
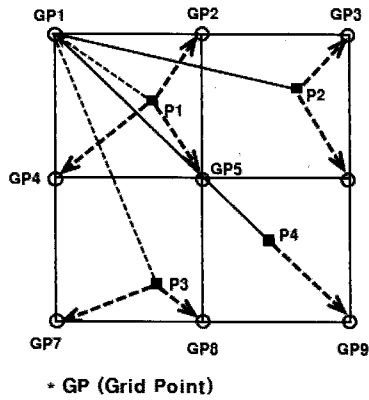


그림 5. Progressive sampling에 의해 생성된 격자의 형태 (o: Model key point)



Grid Point :  $GP_i (X_i, Y_i, Z_i) i=1, \dots, 9$   
 Model Key Point :  $P_j (X_j, Y_j, Z_j) j=1, \dots, 4$

그림 6. Nearest neighbor 보간법

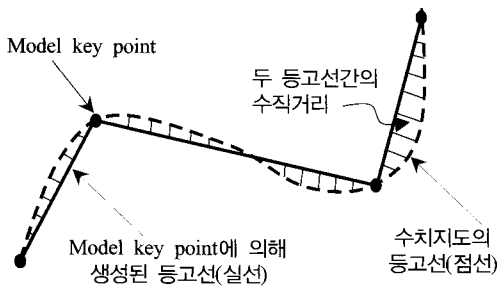


그림 7. 수치지도의 등고선과 model key point에 의한 등고선과의 비교

의 거리를 비교하여 가장 가까운 model key point의 표고값을 형성된 격자점에 부여하여 DTM을 생성한다.

## 5. 결과 및 분석

### 5.1 Model Key Point 추출 및 분석

연구에 사용된 수치지도의 등고선 개수는 373개이며 총 31,692점의 측정점으로 이루어져 있다. Model key point에 의해 생성된 등고선과 원래 수치지도의 등고선과 비교 분석하기 위하여 두 등고선간의 RMSE(root-mean-square-error)를 구하였다. 원래 수치지도의 등고선 상의 모든 측정점에서 model key point에 의해 생성된 등고선의 수직거리를 오차로 간주하여 RMSE를 구하였다(그림 7 참조).

표 1과 같이 등고선 상에서 측정점간의 거리의 임계값을 0.5m에서 2.5m까지 증가시키고 각도의 임계값을 10°에서 30°까지 증가시키면서 각 각에 대하여 생성된 model key point를 이용하여 등고선을 생성하였으며 원래의 수

표 1. 수치지도의 등고선과 model key point에 의한 등고선의 RMSE(단위: m)

거리(m) \ 각도(°)	0.5	1	1.5	2	2.5
10	0.20	0.36	0.49	0.61	0.75
20	0.20	0.38	0.56	0.73	0.89
30	0.20	0.37	0.56	0.74*	0.92

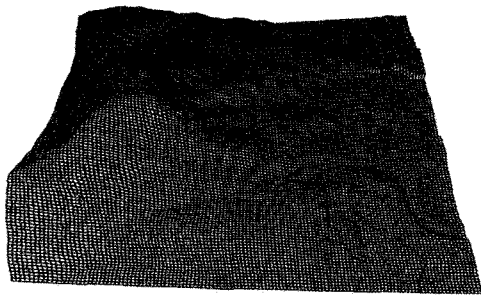
(\*그림 8의 DTM 생성시 사용된 RMSE)

치지도의 등고선과 비교하였다. 비교결과 거리의 임계값의 증가에 따라서 RMSE는 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

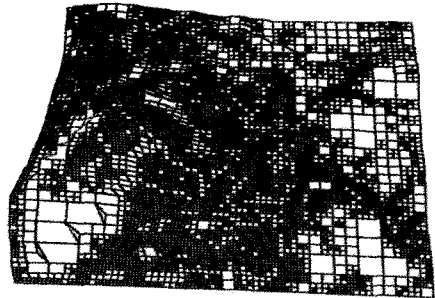
또한 각도의 임계값의 증가에 따른 RMSE의 변화도 각도의 임계값을 크게 설정함으로써 RMSE가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 원래의 등고선에 근접한 등고선을 생성하기 위해 model key point를 추출할 경우 거리 및 각도의 임계값은 작게 설정하여야 한다. 그러나 임계값이 작을수록 추출된 model key point의 개수는 증가하게 된다.

### 5.2 Progressive Sampling에 의한 DTM 생성 및 분석

그림 8은 임계거리를 2m, 임계각도를 30°로 지정하여 추출된 model key point 데이터를 이용하여 progressive sampling 기법으로 최소 격자간격 3m로 생성한 DTM 결과를 보여주고 있다. 또한 Progressive sampling 기법으로 생성된 DTM의 데이터 양의 변화를 비교하였다. 표 2에서 보여주는 것과 같이 단순 격자형 DTM과 progressive DTM을 비교한 결과 최소 격자간격이 작을수록 데이터 양의 차이가 크다. 1m의 격자간격의 경우 progressive



(가) 단순 격자형 DTM



(나) Progressive sampling에 의한 DTM

그림 8. 단순 격자형 DTM과 Progressive DTM

표 2. 단순 격자형 DTM과 progressive DTM의 데이터 양 변화 비교

최소 격자 간격 (m)	데이터 수		데이터 감소량	
	단순 격자형 DTM	Progressive DTM	개수	감소율(%)
1	65,536	35,515	30,021	46
2	16,384	12,970	3,414	21
4	4,096	3,730	3,66	9
6	1,024	1,003	21	2

DTM에 사용된 데이터의 양은 단순 격자형 DTM와 비교하면 46%가 감소됨을 알 수 있다. 즉, 약 절반 정도의 데이터로 원래 지형을 표현 할 수 있다. 최소 격자간격이 3m인 경우(그림 8)는 데이터 수를 21% 감소하여 지형을 표현할 수 있다.

그러므로 불필요한 데이터를 제거하고 반면에 데이터가 많이 필요한 지역에는 상대적으로 많은 데이터를 사용하여 효율적이고 최적의 DTM을 생성할 수 있음을 알 수 있었다. 최소 격자간격이 증가함에 따라 데이터 양의 감소율이 감소되고, 격자간격의 크기가 일정 간격 이상이 되면 데이터 감소율에 큰 변화가 없는 것을 확인할 수 있다.

### 3. 결 론

수치지도의 등고선으로부터 model key point를 추출하고 이를 기반으로 progressive sampling 기법을 적용하여 DTM을 생성한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

추출한 model key point를 사용하여 지형의 특성을 유지한 효율적으로 등고선을 묘사할 수 있었으며, model key point는 최적의 DTM 생성에 중요한 역할을 할 수 있는 가능성을 확인하였다.

단순 격자형 DTM과 progressive DTM를 비교한 결과 데이터의 양을 현저히 감소하여 최적의 융통성이 향상된

다중 격자크기의 DTM 생성할 수 있었다.

기존의 방법으로 제작되는 단순 격자형 DTM은 전 지역에 대해 고정된 동일한 격자간격으로 제작되고 있으므로 데이터의 정량적 정성적 측면에서 효율성이 저하되며 넓은 지역의 경우, 방대한 데이터 양으로 인하여 데이터 처리에 많은 시간이 소요된다. 그러므로 model key point를 기반으로 progressive sampling 결과에 의한 다중해상도 DTM은 데이터 처리에 효과적이다.

향후 연구로는 불규칙한 점으로 구성된 LiDAR 데이터 또는 TIN 데이터로부터 model key point를 추출하고 progressive DTM을 생성하는 방법을 연구함으로써, 융통적이고 활용성이 높은 DTM을 생성할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(10540)의 지원으로 수행되었다.

### 참고문헌

국토지리정보원 (2006), 다차원 공간정보구축에 관한 연구(II), 국토지리정보원, pp. II-3-100.

- 김계현 (2000), GIS 개론-2판, 대영사, pp. 201-202.
- 유근홍 (2007), 효율적인 3차원 수치지도 생성을 위한 지형공간 데이터 모델링, 세종대학교 석사학위 논문.
- 유복모, Toni Schenk (2001), 현대 디지털 사진 측량학, 문운당, pp. 357-401.
- 이동천, 염재홍 (2005), LiDAR 데이터를 이용한 수치지도의 건물 및 등고선 레이어 생성, 한국측량학회지, 제23권, 제3호, pp. 313-322.
- 임영빈, 이철희, 박창숙 (2005), GIS를 이용한 3차원 지형도 생성 및 정확도 분석, 한국측량학회지, 제23권, 제2호, pp. 198-196.
- Burrough, P. (1988), Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford University press, New York, pp. 39-56.
- Clarke, K. (1990), Analytical and Computer Cartography, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ., pp. 215-218.
- Gamba, P. (2000), Digital Surface Models and Building Extraction: A Comparison of IFSAR and LIDAR Data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 38, No. 4, pp. 1959-1968.
- Haralick, R. and Shapiro, L. (1992), Computer and Robot Vision - Volume I, Addison-Wesley Pub., Reading, MA., pp. 371-452.
- Lau, R. W. H., Green, M., To, D., & Wong, J. (1998). Real-time continuous multi-resolution method for models of arbitrary topology. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol 7, No. 1, pp. 22-35.
- Laurini, R. and Thompson, A. (1998), Fundamentals of Spatial Information System, Academic Press, New York, pp. 113-174.
- To, D., Lau, R., and Green, M. (2001), An Adaptive Multiresolution Method for Progressive Model Transmission, *Presence*, Vol 10, No. 1, February, pp. 62-74.
- Wechsler, S. and Kroll, C. (2006), Quantifying DEM Uncertainty and its Effects on Topographic Parameters, Vol. 72, No. 9, PE & RS, pp. 1081-1090.

---

(접수일 2007. 10. 10, 심사일 2007. 11. 15, 심사완료일 2007. 12. 17)