

하이-패스 필터링에 의한 격자형 수치표고모델의 중심점 추출 The Selection of Significant Points from Grid DEM by High-Pass Filtering

이 석 찬* 최 병 길**

Lee Suck-Chan Choi Byoung-Gil

요 약

일반적으로 수치표고모델은 데이터 획득의 자동화 및 관리가 용이한 격자망의 형태로 구성되어 왔다. 그러나 격자형 수치표고모델은 일정한 간격으로 데이터를 추출하기 때문에 지형의 특성을 정확하고 상세하게 나타내기 위하여는 많은 데이터 용량을 필요로 한다.

본 연구는 격자형 수치표고모델로부터 지형을 대표할 수 있는 중심점을 추출함으로써 압축된 수치표고모델을 구축하고자 하였다. 이를 위하여 지형의 중심점이 1차미분 연산자 및 라플라스 연산자에 의한 하이-패스 필터링에 의하여 추적되어 진다.

본 연구의 결과 압축된 수치표고모델을 구축하는데 있어서 라플라스 연산자가 1차미분 연산자보다 더 효과적인 하이-패스 필터임을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In general, Digital Elevation Models(DEM) are constructed in a grid format for this form is advantageous to capture data automatically and is easy to manipulate. But, grid DEM requires vast volumes of data to represent terrain features finely and accurately as its data is sampled in a regular space.

This paper aims at constructing compact DEM by selecting the significant points from grid DEM which affect well the terrain features. For the purpose, the significant points is detected by the high-pass filtering using Laplacian operator and gradient operator.

The results of this study show that the Laplacian operator is more efficient than the gradient operator in selecting the significant points for compact DEM.

1. 서 론

일반적으로 수치표고모델은 격자망의 형태로 구성되어 왔다. 앞으로도 수치 표고모델의 데이터 추출 형태는 이미지 매칭기법 등에 의한 래스터형이 주를 이룰 것으로 전망된다. 이는 래스터형이 데이터 획득 및 저장에 있어서 자동화가 용이하기 때문이다. 그러나 격자형 수치표고모델은 지형의 형태에 관계없이 일정한 간격으로 데이터를 추출하기 때문에 지형의 형상을 상

세하고 정확하게 나타내기 위하여는 많은 기억 용량을 필요로 하며 이는 3차원 화면 출력 등과 같은 응용 분야에서 문제점을 내포하게 된다. 즉 격자형 수치표고모델은 추출간격의 획일성으로 인하여 상대적으로 평탄한 지역에서 때때로 불필요한 데이터가 추출되며 이는 격자형 데이터가 영구적인 저장방법으로는 부적절함을 나타낸다. 따라서 효율적인 수치표고모델을 구축하기 위하여는 이에 대한 처리가 필요하다.

지형지물의 형상에 대한 정보는 지성선, 산 정상등과 같은 지형의 변화점에 가장 많이 내포되어 있다고 할 수 있다. 즉 지형의 변환점은 지형의 중심점이라 말할 수 있다. 따라서 래스

* 한양대학교 토목공학과 교수

** 한양대학교 박사과정

터 방식의 수치표고모델로부터 이러한 지형의 중심점을 추적해 낼 수 있다면 원래의 수치표고모델의 특성을 상실하지 않으면서도 기억용량을 줄일 수 있는 효율적인 수치표고모델을 구축할 수 있을 것이다. 본 연구는 격자형 수치표고모델로부터 지형을 대표할 수 있는 중심점을 추출함으로써 압축된 수치표고모델을 구축하는데 그 목적을 두었다.

수치표고모델에서 지형 특성에 관한 정보를 풍부하게 내포하고 있는 절점이나 절선은 지형의 급속한 변동을 나타내며 완만한 변화를 이루는 지표면은 지형의 완속한 변동을 나타낸다. 즉 지표면은 하나의 수치신호로 생각할 수 있다. 수치표고모델을 묘사하고 있는 수치신호는 푸리에(Fourier) 변환등에 의하여 공간역에서 주파수역으로 변환될 수 있으며 또한 그 역도 가능하다. 주파수역에서 고주파수 성분은 지형의 지역적 성분을, 저주파수 성분은 지형의 전체적인 경향을 나타낸다고 할 수 있다. 고주파수 성분을 제거하고 저주파수 성분만을 통과시키는 과정을 로우-패스 필터링(low-pass filtering)이라고 하는데 이는 지형의 스무싱 처리나 노이즈 제거등에 이용될 수 있다. 이와는 반대로 저주파수 성분을 제거하고 고주파수 성분만을 통과시키는 과정을 하이-패스 필터링(high-pass filtering)이라고 하는데 이는 지형의 경계값, 절선등의 추적이나 형상추출에 이용될 수 있다.

압축된 수치표고모델을 구성하는데 있어서 지형의 중심점은 주위 이웃점들로부터 변화도가 큰 점이라고 할 수 있으므로 1차미분 연산자나 라플라스 연산자와 같은 하이-패스 필터를 이용하여 추적할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 하이-패스 필터에 의하여 격자형 수치표고모델의 중심점을 추출하는 연구가 이루어졌다. 이를 위하여 지형의 특성을 잘 나타낼수 있는 평탄지형 및 산악지역을 선택한 다음 사진측량에 의하여 일정한 격자간격의 수치 표고 데이터를 추출하였다. 또한 비교 분석을 위하여 사진측량에 의하여 작도된 등고선도로부터 수동적인 방법에 의하여 지형의 중심점을 추출하였다.

추출된 중심점으로부터 비정규삼각망(Triang-

ulated Irregular Network)을 구성하였으며 이로부터 정규격자점의 표고를 선형보간법에 의하여 구한 다음 보간 되어진 표고와 사진측량에 의한 표고의 차이의 표준편차를 구함으로써 그 정확성을 분석하였다.

2. 하이-패스 필터링에 의한 중심점의 추출

2.1 공간필터링

공간상의 대상은 공간역(spatial domain)으로부터 주파수역(frequency domain)으로 전환되어 질수 있다. 푸리에 분석은 이에 대한 해석적 접근 방법을 제공하며 지형 성분을 분석하고 처리할때 널리 이용된다.

$$\begin{aligned}
 Z(X, Y) = & \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \alpha_{nm} \cos \frac{2n\pi X_i}{\lambda_1} \cos \frac{2m\pi Y_j}{\lambda_2} \\
 & + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \beta_{nm} \cos \frac{2n\pi X_i}{\lambda_1} \sin \frac{2m\pi Y_j}{\lambda_2} \\
 & + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \gamma_{nm} \sin \frac{2n\pi X_i}{\lambda_1} \cos \frac{2m\pi Y_j}{\lambda_2} \\
 & + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \delta_{nm} \sin \frac{2n\pi X_i}{\lambda_1} \sin \frac{2m\pi Y_j}{\lambda_2}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

불연속적인 공간 데이터에 의한 지형의 형상은 2차원 푸리에함수로 나타낼 수 있다. 여기서 X, Y는 수평좌표를 나타내며 Z는 표고를 나타낸다. λ_1 과 λ_2 는 각각 첫번째 항에 대한 X 및 Y방향에 대한 주파수를 나타내는 것으로 기본 주파수라고 말해진다. α_{nm} , β_{nm} , γ_{nm} , δ_{nm} 은 진폭의 크기를 결정하는 계수이다.

식(1)은 지표면이 자기 다른 주파수 영역을 가진 항들의 급수로 표현되어질 수 있음을 나타낸다. 즉 각각의 항들은 하나의 공간파를 가지는 성분들로 구성되어짐을 알 수 있으며 주기가 큰 항들로부터 주기가 작은 항들의 합으로 구성되어짐을 알 수 있다. 또한 주파수역으로 구성된 모든 항들을 공간역으로 재 전환할 수 있음을 보여준다.

이론적으로 공간역에서 주파수역으로의 변환이나 또는 그 반대의 경우 어떠한 정보도 상실

되지 않는다. 그러나 우리가 주파수역으로부터 단지 제한된 범위의 항들만을 공간역으로 재변환시키면 재 구축된 지표면은 원래와 다른 형상을 나타낼 것이다.

만약 주기가 긴 성분만을 공간역으로 재변환시킨다면 긴 주기를 가진 공간의 형상들만 나타나고 세세한 지형의 형태는 제거되는데 이를 로우-패스 필터링이라고 한다. 로우-패스 필터는 지형의 전체적인 경향을 구하거나 노이즈를 제거하는데 이용될 수 있다. 이와는 반대로 주기가 긴 성분들을 제거시키고 주기가 짧은 성분들만을 공간역으로 재변환 시킨다면 지역적인 성분들을 추적할 수 있는데 이를 하이-패스 필터링이라고 한다. 하이-패스 필터는 지형의 변화점 즉, 특이점이나 임계점 등을 구하는데 이용될 수 있다. 또한 일정한 크기 내에서의 주파수를 갖는 성분만을 공간역으로 재 변환시키는 경우가 있는데 이를 밴드-패스 필터링(band-pass filtering)이라고 한다. 이러한 공간 필터링의 특성은 인공위성으로부터 얻어지는 다중분광 스캐너 데이터, 중력 데이터, 수치표고모델 데이터 등의 수치적 영상처리 기법으로 널리 이용되고 있다.

본 연구는 정규격자형 수치표고모델로부터 그 중심점을 추출함으로써 압축된 수치표고모델을 구성하는데 목적이 있으므로 1차미분 연산자 및 라플라스 연산자에 의한 하이-패스 필터링에 의하여 지형의 중심점이 추출된다.

래스터 형태의 수치표고모델에서 임의점의 표고는 주위 입력값들의 가중평균값에 의하여 다음과 같이 나타낼 수 있다. 즉

$$z(n_1, n_2) = \sum_{k_1=-M}^M \sum_{k_2=-M}^M h(n_1, n_2, k_1, k_2) \times f(n_1 - k_1, n_2 - k_2) \quad (2)$$

여기서 h 는 중량함수이며 이러한 처리는 수치표고모델의 공간적 진동수 특성을 변화시키는데 사용될 수 있다. 만약 중량함수 h 가 n_1 및 n_2 에 독립이면 식(2)는

$$z(n_1, n_2) = \sum_{k_1=-M}^M \sum_{k_2=-M}^M h(k_1, k_2) f(n_1 - k_1, n_2 - k_2) \quad (3)$$

가 되며 이를 공간불변필터(space-invariant filter)라고 한다. 이때 주위 점들에 중량값을 부여하는 과정을 2차원 컨볼루션이라고 한다.

2차원 컨볼루션은 규격화된 연산자가 필요한데 이를 마스크(mask) 또는 커널(kernel)이라고 하며 3×3 , 5×5 등과 같은 컨볼루션 계수들의 배열로 구성된다.

2.2 중심점의 추출

1) 경사에 의한 중심점의 추출

어떤 함수의 1차미분값은 지형 변화점을 찾는 데 이용될 수 있다. 2차원 함수 $f(x, y)$ 의 경사 $\nabla f(x, y)$ 는 다음과 같이 구할 수 있다. 즉

$$\nabla f(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \hat{i}_x + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \hat{i}_y \quad (4)$$

여기서 \hat{i}_x 는 X방향의 단위벡터이며 \hat{i}_y 는 Y방향의 단위벡터이다. 만약 $|\nabla f(x, y)|$ 가 어떤 허용역 보다 크면 이는 지형 및 영상의 강도가 급속히 변화하는 점으로 생각할 수 있다. 이때 허용역의 크기는 응용 분야의 목적에 따라 다르며 허용역이 크면 클수록 변화의 정도가 큰 점들만이 추출될 것이다. 최적적인 허용역을 해석적으로 구하는 것은 어려우며 일반적으로 이는 여러 허용역에 대하여 수치 시험을 한 후 가장 좋은 결과를 주는 값으로 결정된다.

$|\nabla f(x, y)|$ 와 같은 함수에 바탕을 둔 지형 중심점의 추적 시스템을 비방향 추적자(nondirectional detector)라고 한다. 왜냐하면 $|\nabla f(x, y)|$ 와 같은 함수는 특정한 방향으로 편이되어 있지 않기 때문이다.

만약 지형 변환점의 추적 시스템이 특정한 방향으로 편이되었다면 이는 방향 추적자(directional detector)라고 한다. $|\nabla f(x, y)|$ 대신에 $|\partial f(x, y)/\partial x|$ 가 추적시스템에서 사용된다면 수평방향의 지형 변환점은 추적되지 않을 것이며 수직 방향의 지형 변환점만이 추적될 것이다. 즉 $|\partial f(x, y)/\partial x|$ 는 방향 추적자이다.

비방향 추적자 $\nabla f(x, y)$ 는 방향 추적자의 비선형 결합에 의하여 나타낼 수 있다. 즉 식(4)로부터

$$|\nabla f(x, y)| = \sqrt{\left\{ \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \right\}^2 + \left\{ \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right\}^2} \quad (5)$$

이다. 불연속 순차 함수 $f(n_1, n_2)$ 에 대하여 편미분 $\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}$ 와 $\frac{\partial f(x, y)}{\partial y}$ 는 차분식에 의하여 구할 수 있으며 이 경우 식(5)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$|\nabla f(x, y)| = \sqrt{f_x(n_1, n_2)^2 + f_y(n_1, n_2)^2} \quad (6)$$

여기서, $f_x(n_1, n_2) = f(n_1, n_2) \times h_x(n_1, n_2)$

$$f_y(n_1, n_2) = f(n_1, n_2) \times h_y(n_1, n_2)$$

식(6)에서 $h_x(n_1, n_2)$, $h_y(n_1, n_2)$ 은 각각 x 및 y 방향에 대한 컨볼루션 마스크이며 경사에 의한 지형 변환점의 추적 방법은 불연속 공간상에서 지표면을 어떻게 근사화 시키느냐에 따라 많은 변동사항을 가지고 있음을 알 수 있다. 즉 식(5)와는 다른 비선형 결합 및 다양한 컨볼루션 마스크 값을 사용할 수 있다.

2) 라플라스 연산자에 의한 중심점의 추출

라플라스 연산자는 지형 또는 영상 강도의 변환점을 찾는 데 이용될 수 있다. 수치표고모델에서 지형의 변환점은 라플라스 연산자가 어떤 허용역 이상이 되는 점이라고 생각할 수 있다. 1차미분값에 의한 지형 변환점의 추출이 계단함수와 같이 급격히 변환하는 함수에 유리한 반면에 라플라스 연산자는 변환 지역이 넓을 경우 유리하다.

라플라스 연산자는 최대값이나 정상 또는 함몰지역등을 추적하는 능력이 뛰어나지만 노이즈에 영향을 많이 받음으로 이에 대한 주의가 요구된다.

2차원 함수 $f(x, y)$ 의 라플라시언 $\nabla^2 f(x, y)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \nabla^2 f(x, y) &= \nabla(\nabla f(x, y)) \\ &= \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad (7) \end{aligned}$$

지형의 경사에서의 마찬가지로 2차원 순차함수 $f(n_1, n_2)$ 에 대하여 식(7)은 2차 차분식의 형태로 나타낼 수 있다. 즉

$$\begin{aligned} \nabla^2 f(x, y) &\leftrightarrow \nabla^2 f(n_1, n_2) \\ &= f_{xx}(n_1, n_2) + f_{yy}(n_1, n_2) \\ &= h(n_1, n_2) \times f(n_1, n_2) \quad (8) \end{aligned}$$

여기서 마스크 $h(n_1, n_2)$ 에 주어질 수 있는 계수는 무한히 많으며 실제적인 문제에서는 여러 가지 계수를 적용시킨 다음 가장 적절한 계수를 선택하는 방식이 사용된다.

3. 적용 및 고찰

3.1 적용 데이터 및 수치시험

본 연구의 수행을 위하여 평탄지형(경기도 하남시 감일동 일대) 및 산악지형(경기도 화성군 동탄면 일대)을 선정(그림 1)한 다음 사진측량에 의하여 정규격자점의 표고를 추출하고 등고선도가 작도되었다. 사용된 항공사진의 축척은 1/20,000이며 도화기는 Wild사의 BC2 해석도화기를 사용하였다. 연구대상지역의 크기는 각각 $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ 이며 격자점의 간격을 20 m로 한 $101 \times 101 = 10201$ 개의 정규격자점이 추출되었다.

비교 분석을 위하여 사진측량으로부터 작성된 등고선도로부터 수동적 방법에 의하여 비정규 랜덤 데이터가 추출되었다. 추출 방법은 지성선과 같은 절선을 중심으로 추출하였으며 평탄지역에서는 617점(6.0%), 산악지역에서는 582점(5.7%)이 추출되었다. 평탄지형 및 산악지형의 분류는 어떤 수학적인 수치에 의한 것이 아니라 본 연구자의 주관에 의하여 이루어졌다. 그러나 본 연구에서는 단순한 지형 및 복잡한 지형을 대표할 수 있는 지형을 선택하여 지형에 따른 분석에 부합할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 첫째 라플라스 연산자에 의하여 정규격자형 수치표고모델의 중심점이 추출되었으며 이때 사용한 컨볼루션 마스크는 다음과 같다.

$$L1 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad L2 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & 12 & -2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

식(9)는 동-서, 남-북, 북동-남서, 북서-남동의 4 방향을 고려한 라플라스 마스크로 L1은 점들 사이의 거리를 고려치 않은 것이며, L2는 점들 사이의 거리를 고려한 것이다. 즉 거리의 계곱

의 역수를 중량으로 고려한 마스크다. 또한 동-서, 남-북, 2 방향만을 고려한 L3가 수치시험되었다. 즉

$$L3 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

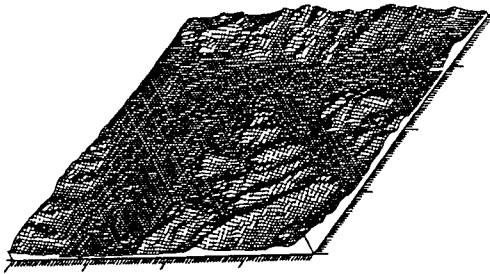
둘째, 지형의 경사에 의하여 정규격자형 수치표고모델의 중심점이 추출되었다.

이때 컨볼루션 마스크로는 Sobel 마스크

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad S_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

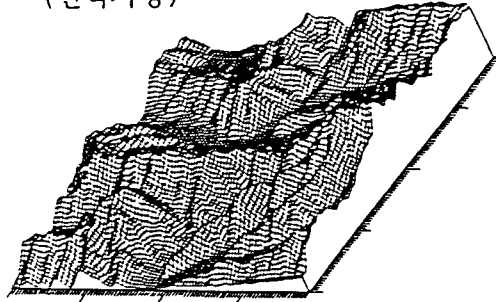
가 사용되었으며 식(6)에 의하여 지형의 경사가 구하여 졌다.

(평탄지형)

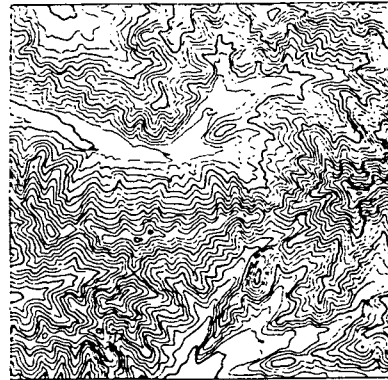
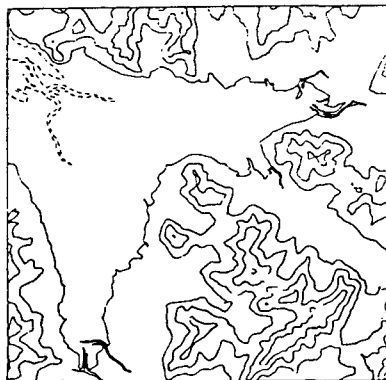


본 연구에서는 수치표고모델의 압축에 그 목적이 있으므로 정규격자형 수치표고모델의 중심점을 추출한 다음, 추출된 점들에 의하여 지형이 어떻게 재구축 되는지 하는 점이 중요한 고려 대상이 되며 경계선의 추적등에서 필요한 세선화업은 수행치 않는다.

지형정보시스템에서 수치표고모델의 등고선이나 3차원모델로 출력될때, 또는 공간 분석시 필요한 정확도는 각각의 응용 분야에 따라 다르다고 할 수 있다. 즉 사용자가 데이터의 검색을 화면 출력에 의하여 수행한다면 이때는 주로 시각적인 면에 의존할 것이므로 높은 정확도를 요구하지 않을 것이나, 어떤 중요한 수치적인 공간 분석을 수행할 경우 높은 정확도를 요구할 것이다. 따라서 중심점의 추출기준 즉 주위 인 (산악지형)

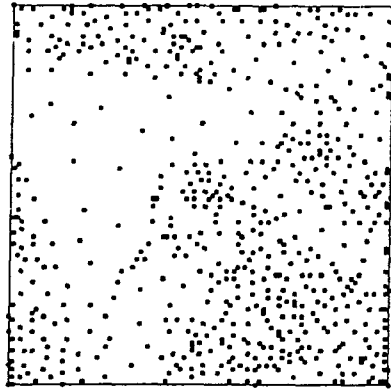


(a) 3차원 수치표고모델

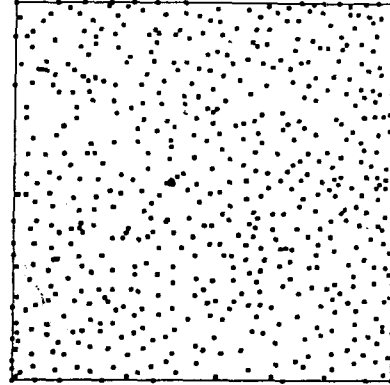


(b) 등고선도

그림 1. 연구대상지역



평탄지형



산악지형

그림 2. 수작업에 의하여 추출된 중심점

접점으로부터의 변화도의 허용역을 얼마로 할 것인가의 문제는 유동적이라 할 수 있다.

본 연구에서는 식(9)~식(11)의 L1, L2, L3, S 마스크에 의하여 컨볼루션 한 값이 일정한 크기(허용역) 이상이 되는 점에 대하여 중심점의 추출이 이루어졌다.

추출된 중심점의 정확도를 구하기 위하여 중심점에 의해 구축된 비정규삼각망으로부터 선형 보간법에 의하여 계산된 표고와 사진측량에 의하여 계산된 표고와의 차이 d의 표준편차(Root Mean Square)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d_i d_i}{n}} \quad (12)$$

및 양의 최대값과 음의 최대값

$$\begin{aligned} d_{\max, p} &= \text{MAX}(d) \\ d_{\max, n} &= \text{MIN}(d) \end{aligned} \quad (13)$$

그리고 절대값의 평균

$$m_a = \frac{1}{n} \sum |d_i| \quad (14)$$

를 구하였다. 여기서 n은 비교 점사되는 점의 수이며 정규격자점에서 돌출적인 성격을 띠고 있는 경계상의 점들과 $\pm 2.586\sigma$ (신뢰구간 95%) 이상의 값을 갖는 점은 계산에서 제외시켰다.

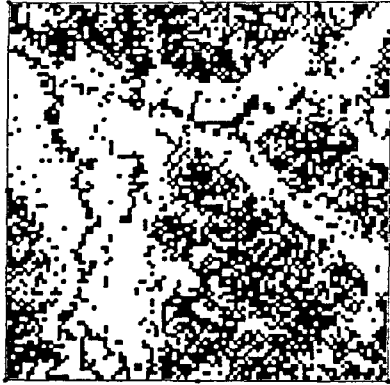
3.2 결과 및 분석

그림 2는 각각 수작업에 의하여 추출된 평탄 지형 및 산악지형의 중심점을 나타내며 그림 3 및 그림 4는 각각의 지형에 대한 공간필터링의

결과로 추출된 중심점이다.

이때 공간필터링에 의하여 추출된 중심점들은 각각의 마스크에 의하여 컨볼루션된 값이 일정한 크기 이상이 되는 점들의 집합이다. 그림은 라플라스 연산자 및 1차미분 연산자(Sobel 컨볼루션 마스크)에 의하여 지형의 변화점이 효과적으로 추적됨을 보여준다. 즉 평탄지역에서는 적은 양의 점이, 복잡한 지역에서는 많은 양의 점이 추출됨을 알 수 있다. 그림에서 Sobel 컨볼루션 마스크는 능선상의 점을 추출하지 않는 경향이 있음을 알 수 있는데 알고리즘의 특성상 충분히 예측할 수 있었던 일로 추출된 점에 의하여 지형을 재현할 때 라플라스 연산자에 의한 것보다 그 정확도가 다소 떨어짐을 나타낸다. 따라서 많은 정확도의 손실없이 기억용량을 줄일 수 있는 압축된 수치표고모델을 구축하는 데에는 라플라스 연산자가 Sobel 연산자보다 효과적인 것으로 생각된다. 그러나 그림에서 Sobel 연산자는 라플라스 연산자보다 지형의 경계를 뚜렷이 하고 있음을 알 수 있으며 능선과 같은 지형 형상을 추적하는데 효과적인 것으로 생각된다.

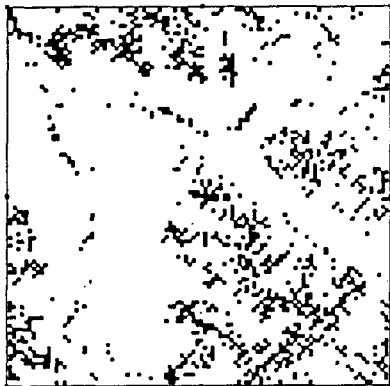
표 1 및 그림 5는 점추출 비율과 추출된 중심점의 정확도의 관계를 나타낸 것이다. 점추출 비율은 추출된 점의 수를 정규격자점의 수 $99 \times 99 = 9801$ 로 나눈 값의 백분율이다. 원래 정규 격자점의 수는 $101 \times 101 = 10201$ 점이나 경계 선상에 놓여 있는 400개의 점은 중심점의 추출



R : 39.57 σ : 0.400



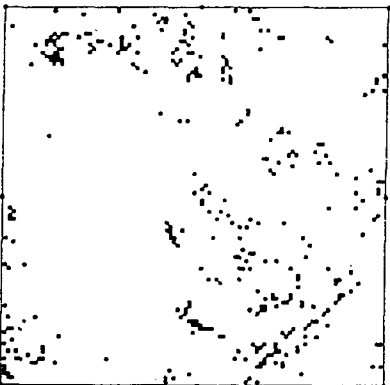
R : 53.91 σ : 0.743



R : 12.58 σ : 2.242



R : 17.11 σ : 3.588



R : 3.49 σ : 7.589



R : 7.59 σ : 7.714

(a) 평탄지형

(b) 산악지형

그림 3. L3 마스크에 의하여 추출된 지형의 중심점



R : 45.79 σ : 1.736



R : 64.94 σ : 2.794



R : 19.27 σ : 4.366



R : 32.84 σ : 6.979



R : 8.73 σ : 7.197



R : 18.08 σ : 11.358

(a) 평탄지형

(b) 산악지형

그림 4. S 마스크에 의하여 추출된 지형의 중심점

대상이 아니므로 제외되었다.

표 및 그림으로부터, 점추출 비율이 같을 경우 L3, L2, L1, S 마스크의 순서로 정확도가 좋음을 알 수 있다. L3는 남-북 및 동-서 두 방향만을 고려한 마스크로 북동-남서 방향과 북서-남동의 네 방향까지 고려한 L2, L1 마스크보다 오히려 그 정확도가 좋음을 보여 준다. 이러한 현상은 여러 방향의 평균에 의한 중심점의 추출방법은 오히려 그 정확성을 저하시키는 것으로 고려된다. 또한 거리 제곱의 역수를 증량으로 고려한 L2의 경우, 거리를 고려하지 않은

L1보다 그 정확도가 좋음을 알 수 있다.

1차미분 연산자인 Sobel 마스크는 라플라스 연산자보다 정확도가 떨어짐을 알 수 있다. 수작업과 비슷한 6%의 점추출 비율에서 가장 정확도가 좋은 L3 마스크는 가장 정확도가 낮은 Sobel 마스크보다 평탄 지형에서는 약 38%, 산악지형에서는 약 45%정도 정확도(σ)가 좋으며 20%의 점추출 비율에서는 L3 마스크가 Sobel 마스크보다 평탄지형에서는 약 74%, 산악지형에서는 약 71% 정도 정확도가 좋음을 알 수 있다.

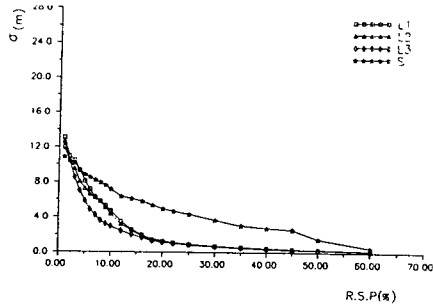
표 1. 점추출 비율과 추출된 중심점의 정확도(σ)

지 마 스 크 추출율	평 단 지 형				산 악 지 형			
	L1	L2	L3	S	L1	L2	L3	S
1	13.06	12.57	11.96	11.31	21.51	21.43	21.55	27.26
2	10.92	10.48	10.45	10.44	20.98	19.69	17.98	25.96
3	10.48	9.51	8.54	9.73	16.17	15.17	14.17	20.14
4	9.33	8.06	6.99	8.73	13.70	13.34	11.88	19.03
5	8.08	7.26	5.81	8.23	12.63	11.58	10.47	18.46
6	7.14	6.59	4.85	7.85	11.63	9.87	9.39	17.03
7	6.25	6.15	4.23	7.58	9.50	8.65	8.34	15.85
8	5.75	5.71	3.60	7.36	8.15	7.54	7.44	14.87
9	5.25	5.05	3.20	7.10	7.29	7.15	6.78	14.28
10	4.72	4.37	2.93	6.72	6.82	6.72	6.14	13.81
12	3.49	3.16	2.40	6.00	6.03	5.74	4.98	13.39
14	2.54	2.49	1.99	5.58	4.84	4.82	4.32	12.49
16	1.94	1.81	1.64	5.14	4.16	4.10	3.85	11.80
18	1.38	1.53	1.29	4.67	3.71	3.58	3.41	11.37
20	1.23	1.28	1.11	4.33	3.34	3.31	3.01	10.34
22	1.08	1.03	1.00	4.02	3.03	3.01	2.76	9.38
25	0.88	0.89	0.84	3.91	2.63	2.52	2.46	8.76
30	0.72	0.69	0.65	3.26	2.15	2.07	1.95	7.65
35	0.57	0.55	0.52	2.63	1.72	1.70	1.53	6.71
40	0.46	0.43	0.39	2.07	1.41	1.38	1.25	6.00
45	0.35	0.30	0.34	1.77	1.16	1.12	1.05	5.30
50	0.30	0.29	0.28	1.06	1.40	0.92	0.87	4.71
60	0.19	0.18	0.16	0.33	1.27	0.60	0.58	3.47

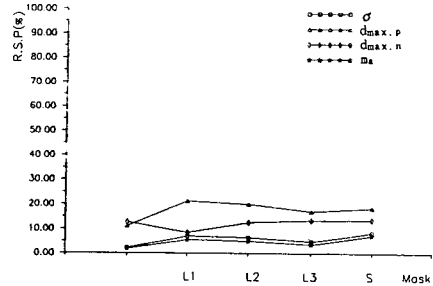
표 2 및 그림 6은 컨볼루션 마스크와 추출된 중심점의 관계를 나타낸 것이다. 컨볼루션 마스크가 중심점 추출에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수작업에 의하여 추출된 점의 비율, 즉 평탄지형에서는 6.0%, 산악지형에서는 5.7%를 기준으로 동일한 점추출 비율을 갖는 각 컨볼루

션 마스크의 표준편차(σ), 양 및 음의 최대편차($d_{max,p}$, $d_{max,n}$), 절대값의 평균(m_a)을 구하였다.

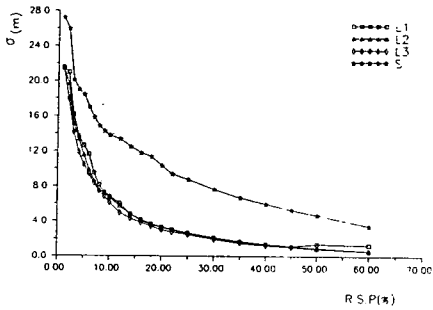
표 및 그림에서 가장 정확도가 좋은 L3의 경우 수작업에 의하여 추출된 중심점보다 평탄지형에서 약 114%, 산악지형에서 약 55% 정도



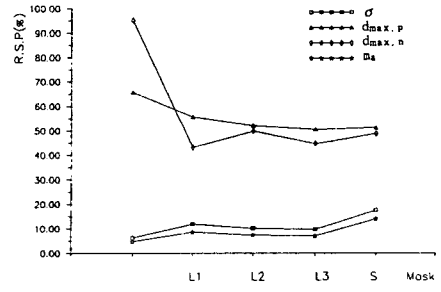
(a) 평탄지형



(a) 평탄지형



(a) 산악지형



(b) 산악지형

그림 5. 점추출 비율과 추출된 중심점의 정확도

그림 6. 컨볼루션 마스크와 추출된 중심점의 정확도

표 2. 컨볼루션 마스크와 추출된 중심점의 정확도

지형 정확도 마스크	평탄		지형		산악		지형	
	σ	$d_{max.p}$	$d_{max.n}$	m_a	σ	$d_{max.p}$	$d_{max.n}$	m_a
수작업	2.27	11.09	12.78	1.81	6.27	65.72	95.08	4.71
L1	7.14	21.21	8.55	5.51	11.93	55.73	43.24	8.56
L2	6.59	20.06	12.64	5.05	10.21	52.18	49.91	7.44
L3	4.85	17.13	13.44	3.65	9.70	50.62	47.82	7.08
S	7.85	18.51	13.65	5.37	17.48	51.36	48.89	14.04

정확도(σ)가 떨어짐을 알 수 있으며, 가장 정확도가 낮은 S의 경우 평탄지형에서 약 246%, 산악지형에서 약 179% 정도 정확도가 떨어짐을 알 수 있다. 이는 라플라스 연산자나 1차미분에 의하여 자동 추출된 중심점의 정확도가 수작업에 의한 경우보다 상당히 떨어짐을 나타낸다. 그러나 하이-패스 필터에 의하여 추출된 중심점은 그다지 큰 정확도를 요하지 않는 3차원 화면 출력등과 같은 지형정보시스템의 수치표고모델을 구축하는데 효과적으로 이용될 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구의 수행 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

지표면에 대한 공간 필터링은 래스터 형태의 수치표고모델로부터 지형의 중심점을 자동 추출하는데 효과적이었으며 라플라스 연산자가 1차미분 연산자(Sobel 컨볼루션 마스크)보다 압축된 수치표고모델을 구축하는데 효율적인 하이-패스 필터임을 알 수 있었다. Sobel 컨볼루션

마스크는 산 정상이나 능선상의 점을 추출하지 않는 단점을 가지고 있어 정확도 면에서 라플라스 연산자보다 떨어지나 지형의 경계점을 명확히 추출함으로써 지형 형상을 추적하는데 효과적인 것으로 생각된다.

라플라스 컨볼루션 마스크중 남-북 및 동-서 두 직각 방향만을 고려한 경우가 북동-남서 방향과 북서-남동의 네 방향까지 고려한 경우보다 정확도가 좋아, 여러 방향에 대한 고려가 오히려 중심점의 추출 효율을 저하시킴을 알 수 있었으며 정확도가 제일 좋은 컨볼루션 마스크에 의하여 추출된 지형 중심점의 경우도 수작업에 의하여 추출된 중심점의 경우보다 약 55% 정도 정확도(σ)가 떨어짐을 보여주어 하이-패스 필터에 의한 중심점의 자동 추출이 정확도 면에서 수작업에 의한 경우보다 상당히 낮음을 알 수 있었다. 그러나 이들 점은 높은 정확도를 요하지 않는 지형정보시스템의 수치표고모델을 구축하는데 효과적으로 이용될 수 있을 것이다.

본 연구에서 수행된 정규격자형 수치표고모델의 데이터 압축방법은 표고정보가 아닌 다른 지형정보에도 확대 적용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Chen, Z. T., and Guevara, J. A., 1987, "Systematic Selection of Very Important Points(VIP) from Digital Terrain Model for Constructing Triangular Irregular Networks", Proceedings of Auto-Carto 8, pp.50-56
2. Davis, J. C., 1988, "Statistics and Data Analysis in Geology", John Wiley & Sons.
3. Hassan, M. M. 1988, "Filtering Digital Profile Observations", PE&RS, Vol. 54, No. 10, pp. 1391-1394
4. Jain, A. K., 1989, "Fundamentals of Digital Image Processing", Prentice-Hall, N. Y.
5. Jayagobi, K., Nagarathinam, V., Maruthachalam, M., Palanivelu, R., 1988, "Filters and Information Extraction", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 10, pp. III-342~III-349
6. Jensen, J. R., 1986, "Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective", Prentice-Hall, N. Y.
7. Kunnler, M. P., 1990, "A Quantitative Comparison of Regular and Irregular Digital Terrain Models", Proceedings, GIS/LIS '90, Vol. 1, pp. 255-263
8. Lee, J., 1991, "Assessing The Existing Methods for TIN Extraction", Technical Papers, ACSM-ASPRS Annual Convention, Vol. 2, pp. 194-203
9. Lim, J. S., 1990, "Two-Dimensional Signal and Image Processing", Prentice-Hall, N. Y.
10. Marr, D., and Hildreth, E., 1980, "Theory of Edge Detection", Proc. R. Soc. Lond. B., pp. 187-217
11. Pan, J. J., 1989, "Spectral Analysis and Filtering Techniques in Digital Spatial Data Processing", PE&RS, Vol. 55, No. 8, pp. 1203-1207
12. Sezan, M. I., 1990, "A Peak Detection Algorithm and Its Application to Histogram-Based Image Data Reduction", Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Vol. 49, pp. 36-51
13. 이 석관, 조 규전, 1982, "수치지형모형에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 제 2권 1호, pp. 93-104
14. 이 석관, 조 규전, 이 창경, 최 병길, 1990, "비정규삼각망 데이터구조에 의한 수치지형모델의 구성", 한국측지학회지, 제 8권 2호, pp. 1-8