

수치표고모형에서 경사와 곡률경중율의 영향

The Effects of Declination and Curvature Weight in DEM

양 인 태* 최 승 필**

권 현*** 김 욱 남****

요 旨

수치표고모형은 실제지형모형의 참값과 비교하여 충분하고 높은 정확도를 지녀야 하며, 미리 주어져 있는 지형데이터와 보간법을 사용하여 임의의 평면위치(X, Y)에 대응하는 표고 h를 구하고 경사를 구할 수 있는 모델을 만들어 놓아야 한다. 보간의 정확도는 지형의 기복 상태와 자료의 밀도에 우선적으로 영향을 받게 되므로, 지형을 객관적인 방법으로 분류할 필요가 있다.

평균경사도와 면적비는 지형이 경사상태에 따라 비슷한 분류 결과를 가져오는 변수이지만, 지형의 국소적인 변화크기를 동시에 표시하는 변수는 면적비이다. 그러므로 본 연구는 지형의 분류를 좀 더 객관화하기 위하여 비교에 의해서가 아니라 경사도에 의해 분류하고, 경사와 곡률경중율의 영향을 분석하여 그 경사도에 합당한 매개변수를 도입함으로써 보다 현실에 가까운 모델을 재현하는데 연구의 목적이 있다.

연구의 결과는 첫째, 경사에 의한 지형의 분류는 평지는 p16과 p24 준경사지 p16과 S, 급경사지는 S와 p24가 적합하고 곡률에 의한 분류는 평지와 준경사지에서 모두 p24와 S가 적합하며, 급경사지에서는 p16이 적합하였다. 경사와 기복 변화량을 조합한 경우는 평지는 p16, 준경사지는 p24, 급경사지는 S가 각각 적합하였다. 둘째, 유형화율은 경사 50%, 곡률경중율 0.0015에서 50~80%로 가장 컸다.

ABSTRACT

DEM must have a high accuracy against the actual topographic model. A model which can compute heights responding to random plane position by using of the topographic data and interpolation must be constructed. Interpolation affected by the accuraccy of the observations included noise, which affected by the slop and curvature weight.

Data smoothing is a method to reduce the noise. Average declination and area ratio are variable which result similarly in according to slope. But in local area, area ratio well shows a local change.

This study try to classify the terrain by the declination to analysis the effects of the declination and curvature weights, and then to represent the most probable model.

The result are following : In terrain classification by the slop, p16 and p24 were fitted in the plane surface fit p16 and S in the varying surface, and S and p24 in the irregular surface in classification by curvature, p24 and S were fitted in the plane or varying surface, and p16 in the irregular surface In case of hybrid, p16, p24 and S are fitted in the plane, varying and irregular surface respectively. Smoothing is the most effective in case of slope of 50 percentage and of curvature weight of 0.0015.

1. 서 론

수치지형모형은 약자로 D.T.M 이라 통용된

* 강원대학교 공과대학 부교수

** 관동대학교 공과대학 조교수

*** 수원전문대학 조교수

**** 목원대학교 강사

다. 유럽에서는 “Digital data를 수치적으로 측정, 수집하여 Computer 내에 저장시킨 것”으로, 미국에서는 “지형특성의 공간분포를 나타내는 일정한 형식을 지닌 숫자의 나열”이라고 각각 정의되었으나, 1974년 9월 워싱턴에서 개최된 I. S. P에서 채택된 정의는 “수치지형모형이란 수치화 또는 기호화된 지구표면에 관한 측정 data

로부터 지구표면에 관한 정보를 보간 또는 유도할 수 있는 모델^{6), 2), 15)}이다. 즉 지형의 수치화 또는 기호화된 지표면에 관한 측정자료로부터 표고, 경사, 경사방향 등의 지형정보를 얻을 수 있는 모델⁹⁾을 의미한다. 여기서 특히 표고만을 다룬 것을 DEM(Digital Elevation Model)이라고 한다.^{2), 10)} 이러한 수치표고모델은 실제 지형 모델의 참값과 비교하여 충분하고 높은 정확도를 지녀야 하며,^{14), 10), 3), 5)} 지형을 수치화하는 경우에는 어떠한 지형정보를 수치화할 것인가를 먼저 고려하지 않으면 안된다. 예를 들면 지형의 표고를 구할 것인지, 등고선의 형에서 얻을 것인지, 또는 사면방위나 경사등도 필요한지 등을 결정한다. 즉 미리 주어져 있는 지형데이터와 보간 공식을 사용하여 임의의 평면위치(X, Y)에 대응하는 표고 h 를 구하고 경사를 구할 수 있는 모델을 전산기내에 만들어 놓아야 한다. 이것을 보간^{8), 11), 7), 14)}이라 하는데 보간점의 정확도는 지형의 기복 상태와 자료의 밀도에 우선적으로 영향을 받게 되므로, 지형을 객관적인 방법으로 분류하는 것에 대한 관심이 높아지고 있다.¹⁵⁾ 이러한 보간과 비슷한 개념중에서 Data Smoothing 또는 Filtering은 보통 noise라고 하는 관측오차의 영향을 줄이는 것이 그 목적으로 최소제곱처리, 이동평균(moving average) 등에 의해 처리된다.

지형의 경사도를 표시하는 것으로 판단되는 평균경사도와 면적비는 지형이 경사상태에 따라 비슷한 분류 결과를 가져오는 변수이지만, 지형의 국소적인 변화 크기를 동시에 표시하는 변수는 면적비인 것으로 판단된다.⁷⁾ 그러므로 본 연구는 지형의 분류를 좀 더 객관화하기 위하여 비교에 의해서가 아니라 경사도에 의해 분류하고 경사와 곡률경중율의 영향을 분석하여 그 경사도에 합당한 매개변수를 도입함으로써 보다 현실에 가까운 모델을 재현할 수 있도록 하고, 그 매개변수를 함수화함으로써 유형화의 객관성을 높이고자 하는데 연구의 목적이 있다.

2. 지형의 묘사를 위한 매개변수

(1) 경사와 곡률

경사는 지표면의 선이 수평선과 이루는 각이며, 경사도는 이 각의 tangent 값으로서, 표면 경사도는 0에서 무한대(편평면—절벽)에 걸쳐 있게 된다. 한 지표면의 여러 점에서 경사도가 계산된다면, 그 표면 위의 모든 경사의 변화를 표시할 수 있을 것이다. 지표면의 경사도는 지형이 수학적으로 쉽게 표현되지 못하기 때문에 계산하기가 용이하지 않지만, 표면의 기복 상태를 표시할 수 있는 좋은 변수로 생각되고 있다.

지표면을 하나의 곡면식(z)으로 생각할 때 평면(x, y)에 대해 한 표면의 공간도함수는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$S = \sqrt{(\partial z / \partial x)^2 + (\partial z / \partial y)^2} \quad (1)$$

여기서, S 는 z 에 대한 한 쌍의 직교편미분 결과로 얻어지는 경사도의 크기이다.

곡률은 거리에 대한 경사도의 변화율로서 식(2.1)을 미분하여,

$$C = \sqrt{(\partial^2 z / \partial x^2)^2 + (\partial^2 z / \partial y^2)^2} \quad (2)$$

으로 구해진다. 위 공식들은 경사도와 곡률이 항상 양이므로 음경사와 양경사, 볼록경사와 오목경사의 구별이 곤란하지만 표면기복의 변수로서는 경사도의 평균과 분산 및 곡률 등이 사용된다.

(2) 절선의 수

지형의 절선(break line)은 경사에 급격한 변화가 있는 선으로 정의되며, 수학적으로는 공간미분이 불연속적인 선을 나타낸다. 물리적으로 제방, 능선, 계곡선 등으로 나타나며, 절선이 지형표면의 조도를 표시하는 변수로 사용될 수 있지만, 입체모델상에서 쉽게 인지되지 않는다. 3차원 지형도에서 차원적 곡선으로 표시되는 등고선과는 대조적으로 절선은 공간곡선으로 입체도화기상에서 부점으로 추적하기 어려우므로, 수학적으로 표현하기 어렵다.

이산자료에 의해 절선을 찾는 다른 방법으로는 경사차이의 기준을 정하여, 예를 들면 10%

이상 경사의 변화가 생기는 단면 부분을 절선으로 표시하거나, 또는 x, y 방향에 대한 미분의 요소가 (+)에서 (-)로 변화하는 점을 찾아서 절선으로 규정할 수 있다.

3. 수치표고모형의 유형화

유형화에는 예측, 선별 및 유형의 방법 중 다항식의 보간, cubic spline method, 최소제곱법을 이용한 선형예측 등의 많은 유용한 보간법들이 있다.

2차원곡면으로 표시하는 다항식

$$Z = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} X^i Y^j$$

에서 한계자점 내에서의 곡면식으로 표시하기 위해서는 네 개의 격자점의 표고, x 와 y 각각에 대한 네 개의 1차도함수, x, y 에 대한 네 개의 도함수로 열여섯 개의 항을 갖는 bicubic 다항식이 최고의 차수로 이용된다.

이것은 격자와 격자주변의 경사를 고려한 함수로서 곡률의 변화가 심한 지형에서 곡률의 변화를 고려하지 못한다. 따라서 본 연구에서는 새로운 방법 중의 하나로 곡률의 변화를 고려할 수 있는 유한요소법을 적용한 표고 보간법을 이용하여 관측자료를 허용 범위 내에 포함되도록 대상지역을 유형화 시켰다.

(1) 적용함수

유한요소법의 연산과정을 설명하기 위하여 우선 일차원의 경우를 고려해 보자. 수치표고모형의 바람직한 격자표고는 미지량으로 간주되어지며 이들 표고의 추정값은 Fig. 1의 관측값 S_i 에 의해 주어진다. 만약 각 종단면도에서 n 개의 미지의 표고점들이 있다면 우리는 n 개의 표고 관측방정식을 만들 수 있다.

$$R_{si} = (h_i - S_i) \times P_{hi} \quad (3)$$

여기서, S_i : 관측된 표고, R_{si} : 잔차

h_i : 미지의 표고, P_{hi} : 표고 경중율

관측방정식의 또다른 유형은 다음과 같이 수행될 수 있다.

$$C_i = h_{i-1} - 2h_i + h_{i+1} \quad (4)$$

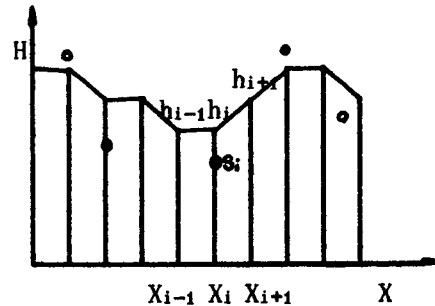


Fig. 1 Continuous approximation

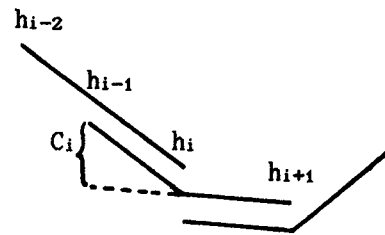


Fig. 2 Successive heights

여기서, h_{i-1} , h_i 및 h_{i+1} 은 Fig. 2에서 3개의 연속적인 미지 표고값을 나타낸다. 식(4)는 절점 i 에서의 곡률 방정식으로 고려되어질 수 있다. 만약 우리가 C_i 를 그에 대응하는 잔차 R_i 의 합이 영인 가상적인 관측으로 가정한다면 식(4)는 다음과 같은 곡률 관측방정식을 유도하게 된다.

$$R_i = (h_{i-1} - 2h_i + h_{i+1} - 0) \times PC_i \quad (5)$$

여기서, PC_i 는 곡률 방정식에 대한 통계학적 경중율을 나타낸다. Fig. 3에서 보여준 $(n \times m)$ 사변형 격자에 대하여, $(n-2) \times (m-2)$ 내부점들의 각각은 Fig. 4와 같이 두 개의 대각 방향과 두 개의 주축 방향으로 네 개의 곡률 관측방정식을 형성할 수 있다.

$$\begin{aligned} R_1 &= (h_{i-1, j} - 2h_{i, j} + h_{i+1, j}) \times PC_2 \\ R_2 &= (h_{i, j-1} - 2h_{i, j} + h_{i, j+1}) \times PC_2 \\ R_3 &= (h_{i-1, j-1} - 2h_{i, j} + h_{i+1, j+1}) \times PC_3 \\ R_4 &= (h_{i+1, j-1} - 2h_{i, j} + h_{i-1, j+1}) \times PC_4 \end{aligned} \quad (6)$$

이것에서 더 나아가 $n \times m$ 의 표고관측방정식(5)가 형성된다. 최소제곱조정 문제는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \sum_{i=2}^{n-1} \sum_{j=2}^{m-1} R_{i, j} PC_{i, j} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{s, j} Ph_{i, j} \\ = \text{minimum} \end{aligned} \quad (7)$$

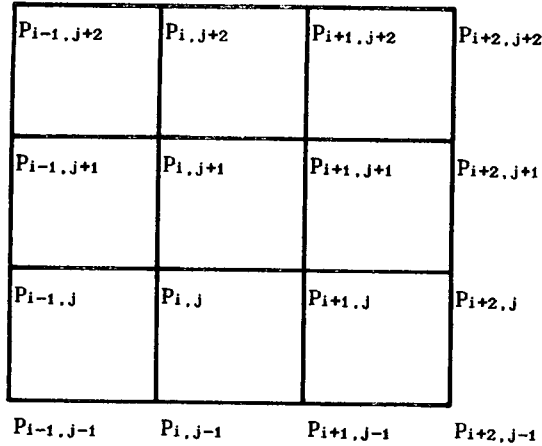


Fig. 3 Rectangular elements

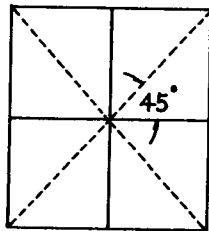


Fig. 4 Curvature observation equation

표고방정식 뿐만 아니라 곡률방정식에 대해서도 다른 경중율을 할당함으로써 우리는 유형화의 양을 변화시킬 수 있다.

(2) 통계학적 경중율 결정

이미 언급된 바와 같이 PC_i 와 Phi 는 분명히 점 i 에서의 곡률경중율과 표고경중율이다. 일반적으로 표고경중율은 자료 관측의 정확도에 의존하고 있는 반면에, 곡률경중율은 지형의 조도에 의존하고 있다.

정확한 지형은 알려져 있지 않기 때문에 경중율을 결정하는 것이 본 연구에서는 중요한 과제 중의 하나이다. 지형의 조도나 평탄성의 종류를 밝혀낸다는 것은 각 곡률 방정식이 계산되어진

세 개의 표고점들에 대한 제 2차 미분이다. 제 2차 미분은 지형의 곡률에 관한 정보를 전달해 준다.⁴⁾

제 2차 미분값이 크면 클수록 그 지형의 조도는 더욱 크다. 4개의 곡률방정식은 45° 증가하는 네 개의 서로 다른 방향을 나타낸다. 각각의 방향에 속해 있는 제 2차 미분값의 네 분산이 계산되어진다. 이러한 분산의 역은 4개의 곡률 경중율, 즉 PC_1, PC_2, PC_3, PC_4 를 준다.

만약 제 2차 미분값이 크게 변화하고 그들의 분산이 따라서 크다면 최소경중율은 식(5)에 적용되어질 것이다. C_i 가 영으로 된다고 가정하면 식(5)에 적용된 큰 경중율은 점 i 에 대한 초기 가정은 올바르고 지형은 평탄하다는 것을 의미한다.

4. 실제적용 및 결과분석

(1) 지형 분류 변수

본 연구에서는 지형의 객관적 분류를 위하여 지형을 정량적으로 표시할 수 있는 변수들을 선택하여 표고범위별로 구분한 16개의 지형에 대한 변수의 값을 구하였다. 변수들은 먼저 지형의 경사 크기를 표시하는 변수와 지형의 기복 변화량을 표시하는 변수로 나누어서 고려하였다. 경사의 크기를 표시하는 변수로는 각 격자점에서의 경사를 구한 평균경사도(GB)와 격자 구역내의 수평면적에 대한 표면적의 비(RA)로서, 여기서는 평균경사도를 백분율로 표시하고 면적비는 경사면적(A')의 수평면적(A)에 대한 증분의 백분율 즉 $100 \times (A' - A) / A$ 로 표시하였다.

기복의 변화량을 표시하는 변수로는 평균곡률(CB), 돌출빈도(BP), 벡터분산(VD), 조화벡터량(HVM) 및 절점의 수(BK)로 나누었으며, 여기서 절점은 경사의 변화가 $+10\%$ 에서 -10% 로 변화하는 지점으로 규정하고, 절점 수의 전체관측점 수에 대한 비율로써 표시하였다.

(2) 경사도 변수에 의한 분류

평균경사도(GB)를 사용하여 군집 분석한 결과는 평균경사도에 의한 분류와 R.F에 의한 분

류는 거의 비슷한 특성을 표시하지만, 평균경사도가 극소적인 경사까지 표시하는 것으로 생각되며, 지형특성을 세분화하기 위하여 경사가 20% 이하인 지형군(I군, 평지 또는 완경사지), 20~35%인 지형군(II군, 준경사지), 35% 이상인 지형군(III군, 급경사지)의 3개의 군집으로 분류하였고, 보간법은 다항식의 항수에 따라 항수가 16과 24 일때를 P16, P24로 하고, S는 Spline 방법을 의미한다.

(3) 곡률에 의한 분류

곡률에 의한 분류는 (I)군은 0.3 이하, (II)군은 0.3-2.0, (III)군은 2.0 이상의 3군으로 나눌 수 있다. 격자점간의 곡률을 구하는 것은 수집자료의 격자점 간격에 영향을 받아서 경사가 비슷한 지형에서는 격자점의 간격이 좁은 경우에 곡률이 크게 표시되는 경향이 있다. 따라서 지형의 극소적인 경사변화 상태에 대한 크기를 잘 표시하는 것으로 생각되며, (I)군에서는 P24와 S, (II)군에서도 P24와 S, (III)군에서는 P16이 적합하여, 앞의 경우인 경사의 크기를 표시하는 변수에 의한 분류보다는 각 군집에서 보간식의 적용이 더욱 일관성이 있는 것으로 판단된다.

(4) 경사도와 기복변화량의 조합에 의한 분류

앞에서 분석한 변수로서 분류한 결과를 비교하면 조화벡터량에 의한 분류가 각 군집에서 적합한 보간식에 가장 상관성이 높은 것으로 판단된다. 이것은 보간식을 지형의 경사보다 기복의 변화량의 크기에 따라서 적용시키는 것이 적합하다는 것을 알 수 있다. 따라서 경사를 표시하는 변수 중 기복의 변화를 동시에 나타내는 변수로 생각되는 면적비를 돌출빈도량과 조합하여 군집분석한 결과 (I)군은 면적비가 7.0까지의 준경사지에 조화 벡터량이 2.0 이하의 기복변화량이 적은 즉 준경사의 기복 변화가 작은 지형으로 표시되며 보간식은 P16이 군집에서 잘 적합된다. (II)군은 면적비가 3.0 이하의 완경사지에 기복변화량이 8.0까지의 기복변화량이 있는 즉 완경사지의 기복변화량이 있는 지형으

로, 보간식은 P24의 곡률을 고려한 보간식이 잘 적합되며, (III)군은 경사와 곡률 변화량이 큰 지형으로 S의 보간식이 잘 적용됨을 알 수 있다.

(5) 유형화에 대한 분석

실제 지형도에서 경사에 따라 획득한 자료의 신뢰성을 입증하기 위한 것이다. 즉, 자료 획득에 있어서 많은 노력을 기울인다 하여도 다소간의 다른 경사를 가진 지역이 포함된다. 이러한 경사의 분포가 다른 지역을 어느 일정한 경사를 가진 지역으로 표현한다는 것에는 첫째, 경사에 따른 표고 자료의 정확도는 어느 정도인가? 둘째, 표고 자료를 추출하여 일정한 경사로 표시할 경우 어느 정도까지 다른 경사를 포함시킬 것인가? 셋째, 실제 지형을 완벽하게 표현하는 이상적인 등고선을 가상하였을 때 그의 경사에 따른 기준 자료와 분산 자료, 유형화 자료 사이의 관계에 어떤 차이를 보일 것인가? 하는 문제에 도달하게 된다. 바로 이런 문제들을 해결하고 또 비교·검증하여 정확도를 부여하기 위한 절차로 가상의 동심원을 이용한 자료 획득이 가장 좋으리라 생각된다. 자료 획득을 위한 가상의 동심원은 정사각형을 가로축과 세로축을 0부터 10까지 11개로 된 격자망을 구성하고, 정사각형의 중심을 가상 동심원의 중심으로 하여, 동심원 간격 즉, 등고선의 간격을 격자 간격의 1/2과 같도록 일정하게 가상의 동심원을 그렸다. 이렇게 하여 가상 동심원의 높이가 결정되면 각 격자점에서의 높이는 동심원을 이용하여 구하고 이것을 자료로 이용하였다. 유형화 시키는 과정에서 지형의 경사와 표준편차 사이의 관계를 분석한 결과 지형의 경사 변화는 유형화의 표준편차에 거의 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있으며, 또한 경사와 곡률경중율의 관계를 알기 위하여 분석한 결과 곡률경중율은 경사가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있다.

각 표고경중율에 따른 경사와 유형화율의 관계를 알기 위하여 산출한 결과는 Table 1과 같으며, 이것을 그림으로 나타낸 것이 Fig.5이다. 이 그림을 분석하면 유형화되는 율은 경사 0.5에서 약 50~80%로 유형화가 잘 됨을 알 수 있

었다. 또한 경사가 8/10 이상일 때는 유형화의 율은 급격히 떨어짐을 알 수 있었다. 곡률경중 율과 유형화율과의 관계를 알기 위하여 산출한 결과는 Table 2과 같으며, 이것을 그림으로 나타낸 것이 Fig.6이다. 이 그림을 분석하면 유

Table 1. Correlation of the slope vs. smoothing ratio by changing of height weight in the Hypothetical Contour map.

ph slope	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
0.1	0.768	1.266	1.523	1.653	1.712	1.729
0.2	15.723	12.095	9.600	7.807	6.471	5.447
0.4	71.791	90.274	95.994	85.361	78.874	69.936
0.6	86.452	68.063	55.750	46.998	40.494	35.487
0.8	30.590	25.329	21.595	18.810	16.654	14.937
1.0	35.561	29.625	25.381	22.197	19.719	17.737
2.0	19.336	16.177	13.906	12.196	10.859	9.788

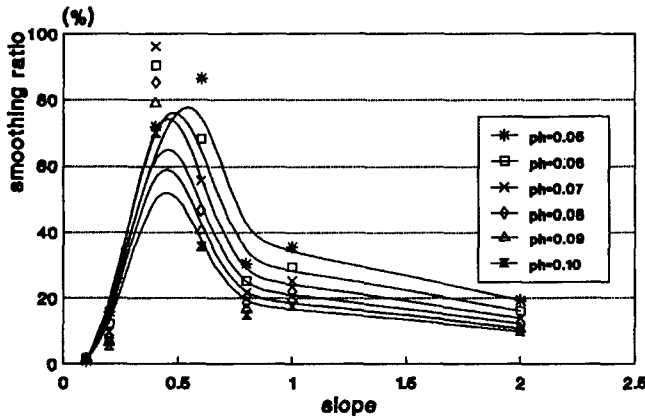


Fig.5 Diagram of the slope vs. smoothing ratio by changing of height weight in the Hypothetical contour map.

Table 2. Correlation of the curvature weight vs. smoothing ratio by changing of height weight in the Hypothetical contour map.

pc	ph	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
2.00E-04		19.336	16.117	13.906	12.196	10.859	9.788
6.00E-04		35.561	29.625	25.381	22.197	19.719	17.737
9.00E-04		30.59	25.329	21.595	18.81	16.654	14.937
0.001		71.791	90.274	95.994	85.361	78.874	69.936
0.002		86.452	68.063	55.75	46.998	40.494	35.487
0.002		0.768	1.266	1.523	1.653	1.712	1.729
0.003		15.732	12.095	9.6	7.807	6.471	5.447

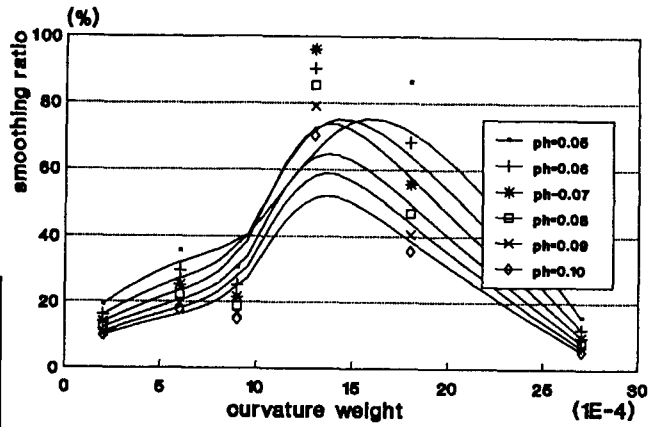


Fig.6 Diagram of the curvature weight vs. smoothing ratio by changing of height weight in the Hypothetical contour map.

형화되는 율은 곡률경중 율 0.0015에서 약 50~80%로 유형화가 잘 되는 것을 알 수 있다.

5. 결론

이상의 실제적용 및 결과 분석을 종합하며 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 경사에 의한 지형의 분류는 I군은 p16과 p24 II군은 p16과 S, III군은 S와 p24가 적합하고 곡률에 의한 분류는 I, II군에서 모두 p24와 S가 적합하며 III군에서는 p16이 적합하였다. 경사와 기복 변화량을 조합한 경우는 I군은 p16, II군은 p24, III군은 S가 각각 적합하였다.

둘째, 유형화율은 경사 50%, 곡률경중 율 0.0015에서 50-80%로 가장 크며 경사가 80% 이상일 때는 급격히 감소함을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. Ayeni, O. O., 1979, "Objective terrain description and classification for Digital Terrain Models", XIII ISP Congress Commission III, Presented Paper, Helsinki pp. 1-8.
2. A. J. Van der Weele, 1968. "Highway Mapping", Proceedings of the ITC Post-Convention Seminar, pp. 156-160.

3. Braker, F. 1975. "Generation of Regular Point Grid from Contour Lines for Digital Terrain Model", *Unpublished thesis*, Enschede, The Netherlands.
4. Crespo, M., Forlani, G., Mussio, L. & Radicioni, F. 1988. "Terrain Classification by Cluster Analysis", *XVI ISP Congress Commission III*, Presented Paper, Kyoto, pp. 128-137.
5. Jiwalai, W. 1972. "Digital Terrain Terrain Models-Numerical Investigation of Regular Point Grids" Unpublished Thesis. Enschede.
6. K. Kraus, 1973. "Ein Allgemeines Digitales Gelandemodell", *Numerische Photogrammetrie*, Herbert Wichmann Verlag GmbH, pp. 225-226.
7. Leberl, F. 1973. "Interpolation in Square Grid DTM", *ITC Journal*, p. 756.
8. Makarovic, B., 1976. "A Digital Terrain Model System", *ITC Journal*, No. 1, pp. 57-83.
9. Miller, C.L. 1958. "The Digital Terrain Models-Theory and Application", *Photogrammetric Engineering*.
10. Nakamura, H. 1968. "On Digital Terrain Model", *IPS Commission V*, Lausanne.
11. Stefanovic, P. et al. 1977., "Digital Terrain Models : Data Acquisition, Processing and Applications", *ITC-Journal*, pp. 61.
12. Stefanovic, P., Radwan, M. M., and Tempfli, K. 1986. "Digital Terrain Model : Data Acquisitions", *ITC-Journal*, pp. 61-76.
13. 권현, 1988. "수치지형모델에 있어서 지형의 분류에 따른 보간법 적용"에 관한 연구, 연세대학교 박사학위 논문.
14. 이석찬, 조규진, 1982. "수치지형모형 관한 연구", 대한 토목학회 논문집, Vol. 2, No. 3, pp. 93-104.
15. 조규진, 1983, "밀도증가식 표본 추출법을 중심으로 한 수치지형 모델에 관한 연구", 한양대학교 박사학위 논문
16. 村井俊治, "國際寫眞測量學會 コミッショソⅣ의 分課會Ⅳ-1에 參加レデ", 寫眞測量, Vol. 13, pp. 27-29.