

유한요소법에 의한 수치표고모델의 유형화에 관한 연구

- 설악산 지역을 중심으로 -

A Study on the Smoothing of Digital Elevation Model
by Finite Element Method
- in Mt. Sorak Area -

최승필* · 양인태**

Choi, Seung Pil · Yang, In Tae

Abstract

The narrow interval grid is effective in accuracy, but it is not able to make a densely grided sample, so that smoothing is required.

In digital elevation models, an application of the finite elements method is effective to smooth the undesired noise which is generated in aquisition of elevation data. And this is one of the simple and direct method to solve the problem for discontinuity of terrain. Therefore, the finite elements method is applied to study.

In digital elevation model by applying the finite element, smoothing is affected by the height weight. In this study, the relation equation between elevation weight and standard deviation of smoothing was obtained as $Y = 1900625 X^4 - 312987.6 X^3 + 20330.72 X^2 - 578.6029 X + 12.63772$ and from this function, Optimum elevation weight is 0.05

요 지

수치표고모델에서 좁은 격자 간격은 정확도에 효과적이지만, 지나치게 조밀하게 격자화된 표본을 만들 수는 없기 때문에 유형화가 요구된다. 수치표고모델에서 유한 요소법의 적용은 표고 취득과정에서 발생된 원하지 않는 오차를 유형화하기 위하여 효과적이며, 지형의 불연속에 대한 문제점을 직접적이고도 간단하게 처리할 수 있는 이상적인 기법이므로 본 연구에서는 유한요소법이 적용되었다.

유한 요소법에 의한 수치표고모델은 표고 경증률이 유형화에 특이큰 영향을 주는데, 본 연구에서는 표고 경증률과 유형화의 표준편차 사이에 $Y = 1900625 X^4 - 312987.6 X^3 + 20330.72 X^2 - 578.6029 X + 12.63772$ 의 상관식을 얻었으며, 이 식으로 부터 최적의 표고 경증률은 0.05 임을 알 수 있었다.

* 정회원 · 관동대학교 이공대학 조교수, 토목공학과

** 정회원 · 강원대학교 공과대학 부교수, 토목공학과

1. 서론

수치지형모델의 정확도는 자료 취득방법과 보간법에 크게 영향을 받으며 기본자료 취득방법에 있어서 일반적으로 규칙 격자형태로 자료를 취득하는 것이 가장 효율적인 것으로 평가되고 있다.⁽¹⁾ 그러나 규칙 격자형태를 무한히 조밀하게 하기는 불가능하므로 격자형으로 얻어진 자료에 대한 적절한 보간은 수치지형모델의 이용에 앞서 기본적으로 처리되어야 하는 과정이다. 이때 재현된 지형이 실제 지형에 가장 접근할 수 있는 보간법이 요구되는데, 지형의 기복상태가 복잡하고 다양하므로 지형의 특성에 따라 가장 적합한 보간법이 적용되어야 한다.⁽²⁾ 따라서 본 연구에서는 지형을 경사도에 의해 분류하고 그 경사도에 합당한 매개변수를 도입함으로써 보다 현실에 가까운 모델을 재현할 수 있도록 하고, 그 매개변수를 함수화 함으로써 유형화의 객관성을 높이고자 하는데 있다.

수치지형모델에서 알려져 있는 보간법은 대부분 수치해석 분야에서 사용하는 것으로 자료의 간격이 충분히 가깝고 어느 정도의 오차를 허용한다면 이 방법을 사용할 수 있지만, 대부분이 다항식으로 근사되는 보간법이다.^(3,4,5,6) 특히 표고 정보는 이론적으로 무작위 함수로 보아야 하며 다항식으로 표현하기에는 많은 어려움이 있다. 이때 설악산 지형을 소구역으로 나누어 각각의 소구역을 함수로 표현한다면 지형은 곡면군으로 표시되며, 임의의 함수로 전체 구역을 표시하는 것보다는 정확도를 높일 수 있다. 그러므로 복잡한 표고 정보를 더욱 세밀히 다루기 위하여 설악산 지역에 유한요소법을 도입하여 DEM(Digital Elevation Model)을 구축하는 데에 있다.

2. 유한요소법에 의한 지형해석

유한요소법은 그림 1에 나타낸 것 같이 변형에 대해 무한의 자유도를 지닌 물체를 유한의 자유도를 지닌 요소 즉, 유한요소의 집합체로서 근사시켜 이 집합체에 대하여 성립하는 연립1차방정식을 해석하는 방법인 것이다. 즉, 물리적으로 엄밀한 지배방정식을 유한요소라고하는 개념에서 근사적인 방정식에

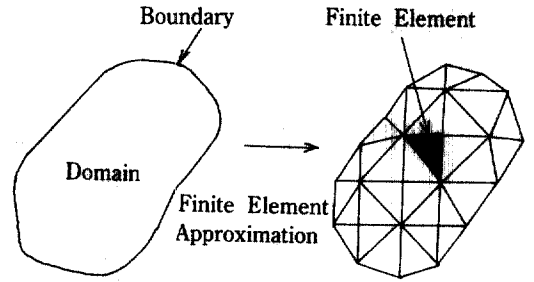


그림 1. Finite element method

치환하여 수학적으로 엄밀히 계산하는 방법인 것이다. 유한요소법은 그 성격상 컴퓨터의 사용은 불가피하며 요즈음의 발달 배경으로서 컴퓨터의 대형화, 고속화는 중요한 요인이다.⁽⁷⁾

본 연구에서도 연속지형의 불규칙한 지형특성에 대해 지형 묘사변수를 분할된 각각의 유한 요소에 근사적으로 적용시켜 줌으로써, 그 지형의 특성을 보다 정확하게 표현하고자 한다.

2.1 유한요소와 지배방정식

유한요소와 지배방정식의 개념을 설명하기 위해 연속 근사값의 한 예를 그림 2에 표시했다. 근사값은 요소들로 연결된 선형함수를 이용함으로써 얻어진다. 이것은 연결되어 있기는 하지만 연속적인 유한요소들 사이의 절점(Nodal points) X에서는 선형이 아니라는 것을 알 수 있다. 분명히 f(X)에 대한 이러한 근사함수 $\phi(X)$ 는 그림 3에서 보여주고 있듯이 기본함수 $\phi_k(X)$ 의 선형조합으로

$$\phi(X) = \sum_{k=0}^n f \phi_k(X) \quad (1)$$

이다.⁽⁸⁾

여기서, $\phi(X)$ 는 기본함수,

f는 제약 계수(Constraint Coefficient)

$$K=0,1,2,3,\dots,n$$

이런 함수들 $\phi_k(X)$ 는 유한요소법에서 사용된 모든 기본 함수들의 전형적인 특성을 보여준다.⁽⁹⁾ 즉 이 함수들은 유한지지(finite support)의 함수이다. 함수의 지지는 그 함수가 영파는 다른 영역이다. 즉 유한지지 함수는 이 경우에 유한영역의 밖, 즉 이런 경우에는 그림 3의 구간 $[X_{k-1}, X_{k+1}]$ 사이의 밖에서 모두 영인 함수이다.

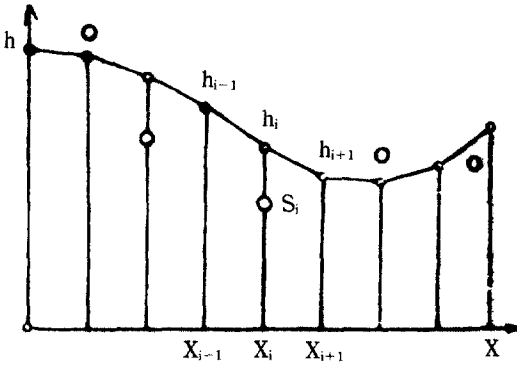


그림 2. Continuous approximation

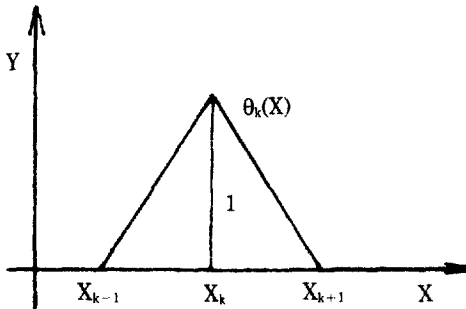


그림 3. Governing function

2.2 유한요소법에 의한 유형화절차

유형화 절차는 임의의 분산 자료가 사용되어질 수 있으며, 첫번째 단계는 임의의 분산 자료로부터 사변형 격자를 형성하는 것이고, 두번째 단계는 격자화된 계산값을 유형화시키는 것이다.

만약 임의의 분산 자료가 제공되어진다면, 격자화된 자료는 제공된 자료로부터 계산되며, 그림 4에서 좌표 $\Delta X_k, \Delta Y_k$ 에 대한 점 P_k 는 격자망 내부에 위치하고 있다는 것을 보여준다. P_k 로부터 우리가 4개의 주위의 절점을 계산하기 원한다면, 관측방정식은 식(2)와 같이 된다.

$$R_k = (1 - \Delta X_k)(1 - \Delta Y_k) \times P_{ij} + \Delta X_k(1 - \Delta Y_k) \times P_{i+1,j} + (1 - \Delta X_k) \times \Delta Y_k P_{i,j+1} + \Delta X_k \Delta Y_k P_{i+1,j+1} - P_k \dots \quad (2)$$

여기서, R_k : P_k 표고에서의 잔차.

P_k : X_k, Y_k 지점의 표고

P_k 에 상응하는 표고는 4개의 주위의 격자점 $P_{ij}, P_{i+1,j}, P_{i,j+1}, P_{i+1,j+1}$ 의 선형합수를 이룬다.

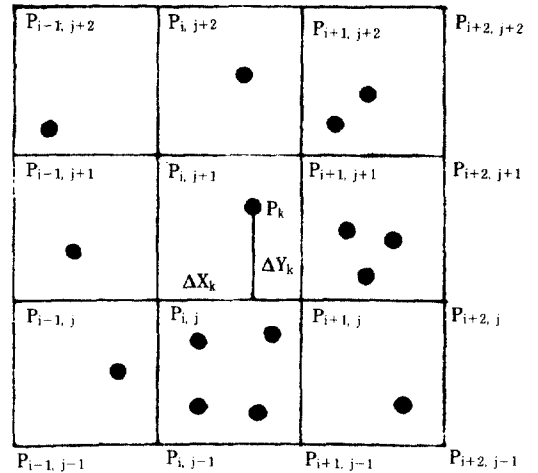


그림 4. Rectangular element

2.3 수치표고모델의 유형화

수치표고모델의 바람직한 격자표고는 미지량으로 간주되어지며 이들 표고의 추정값은 그림 2의 관측값 S_i 의해 주어진다. 만약 각 종단면도에서 n 개의 미지의 표고점들이 있다면 우리는 n 개의 표고관측방정식을 만들수 있다.⁽¹⁰⁾

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

여기서, S_i : 관측된 표고,

R_{si} : 잔차,

h_i : 미지의 표고,

P_{hi} : 표고 경중률.

관측방정식의 또다른 유형은 다음과 같이 수행될 수 있다.

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

여기서, h_{i-1}, h_i 및 h_{i+1} 은 그림 5에서 3개의 연속적인 미지 표고값을 나타낸다. 식(4)은 절점 i 에서의 곡률방정식으로 고려되어질 수 있다. 만약 C_i 를 그에 대응하는 잔차 R_i 의 합이 영인 가상적인 관측으로 가정한다면 식(4)은 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 곡률방정식에 대한 통계학적 경중률을 나타낸다. 그림 4에서 보여준 $(n \times m)$ 사변형 격

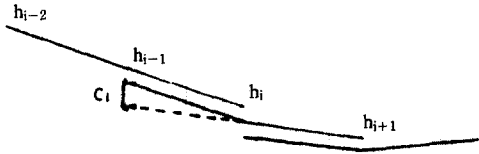


그림 5. Successive heights

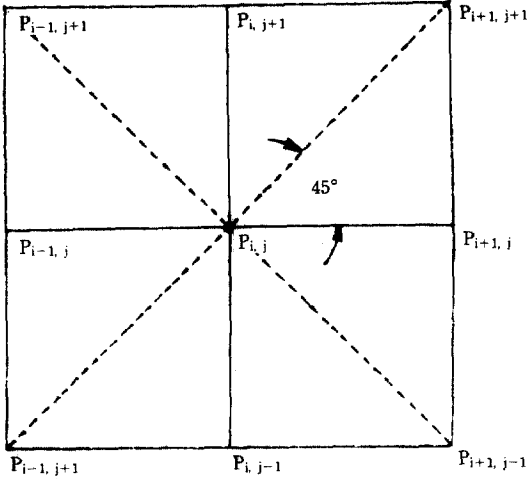


그림 6. Continuous three point for curvature observation equation

자에 대하여, $(n-2) \times (m-2)$ 내부 점들의 각각은 그림 6과 같이 두 개의 대각 방향과 두 개의 주축방향으로 네 개의 곡률관측 방정식을 형성 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R_1 &= (h_{i-1, j} - 2h_{i, j} + h_{i+1, j}) \times PC_1 \\
 R_2 &= (h_{i, j-1} - 2h_{i, j} + h_{i, j+1}) \times PC_2 \\
 R_3 &= (h_{i-1, j-1} - 2h_{i, j} + h_{i+1, j+1}) \times PC_3 \\
 R_4 &= (h_{i+1, j-1} - 2h_{i, j} + h_{i-1, j+1}) \times PC_4
 \end{aligned} \quad (6)$$

이것에서 더 나아가 $n \times m$ 의 표고관측방정식(3)이 형성된다. 최소제곱조정 문제는 다음과 같다.

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

표고방정식 뿐만아니라 곡률방정식에 대해 서로 다른 경중률을 할당함으로써 우리는 유행화의 양을 변화시킬 수 있다.

앞에서 언급된 바와 같이 PC_i 와 Ph_i 는 분명히 점 i 에서의 곡률경중률과 표고 경중률이다. 일반적으로

표고경중률은 자료 관측의 정확도에 의존하고 있는 반면에, 곡률경중률은 지형의 조도에 의존하고 있다.

정확한 지형은 알려져 있지 않기 때문에 경중률을 결정하는 것이 본 연구에서는 중요한 과제중의 하나이다. 지형의 조도나 평탄성의 종류를 밝혀낸다는 것은 각 곡률 방정식이 계산되어진 세 개의 표고 점들에 대한 제2차 미분이다. 이 제2차 미분은 지형의 곡률에 관한 정보를 알려준다.^(11,12)

제2차 미분값이 크면 클수록 그 지형의 조도는 더욱 크다. 4개의 곡률방정식은 45° 증가하는 네 개의 서로 다른 방향을 나타낸다. 각각의 방향에 속해 있는 제2차 미분값의 네 분산이 계산되어진다. 이러한 분산의 역은 4개의 곡률경중률 이다.

만약 제2차 미분값이 크게 변화하고 그들의 분산이 따라서 크다면 최소경중률은 식(5)에 적용되어질 것이다. C_i 가 제로로 된다고 가정하면 식(5)에 적용된 큰 경중률은 점 i 에 대한 초기 가정은 올바르고 지형은 평탄하다는 것을 의미한다.

울지않은 커다란 곡률경중률을 얻는 경우에 그 표고경중률이 비교적 작은 그 지형 형태는 평탄하게 된다.

3. 실제 적용 및 분석

3.1 적용방법

실제 지형에 적용 가능성을 타진하기 위하여 설악산 국립공원이 위치한 위도 $38^\circ 00' 00'' N$ 에서 $38^\circ 15' 00'' N$ 사이와 경도 $128^\circ 15' 02'' E$ 에서 $128^\circ 37' 40'' E$ 사이의 표고자료로 1/25,000 지형도에서 가로, 세로 모두 500m의 간격으로 52×62 (3,224개)의 격자를 형성하여 시도 하였다.

그러나 첫째로 해결하여야 하는 문제는 설악산의 경우 격자점이 3224(52×62)개로 구성되어 있다는 것이다. 그러므로 실제 우리는 퍼스날 컴퓨터에서 사용할 수 있는 용량이 부족하므로 격자점 3224개를 실행할 수 없다. 따라서 전체 격자점을 144(12×12)개씩 30개의 구역으로 나누어 구성하고 좌에서 우로, 위에서 아래로 구역을 옮기면서 전 지역의 자료를 처리하도록 하였다. 우선 설악산의 각 격자점 자료를 저장시키고, 12×12 의 행렬을 그림 7과 같은 순서에 의해 구성한다. 프로그램 자료 처리 과정에서 그림

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30

그림 7. Shape of sectors divided by 5×6

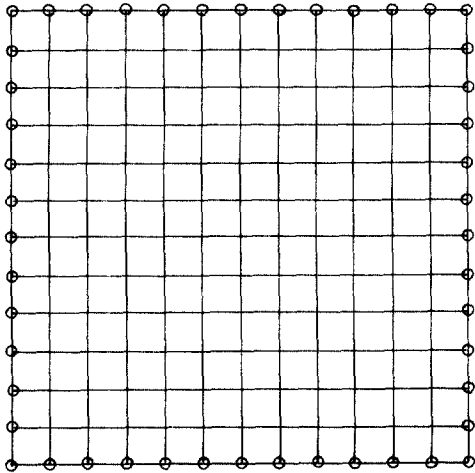


그림 8. Shape of one sector divided by 12×12 grid points

8의 가장자리 부분은 유형화된 표고값을 얻기 위해 영향만 미칠뿐 그 자체의 값은 제거되어 출력되지 않는다. 따라서 이러한 부분을 무시한 채로 구역을 나눈다면 각 구역간의 접합 부분이 공집합으로 구성되어 연속적인 수치표고모델을 구성할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 그림 9에서 처럼 각 구역간의 자료 행렬을 교집합이 이루어지도록 구성하였다. 예를 들어 그림 9에서 8번 구역의 경우 2번 구역의 11,12행과 8번구역의 1,2행이 중복되고, 7번 구역의 11,12열은 8번 구역의 1,2열과 중복되며, 14번 구역의 1,2행은 8번 구역의 11,12행과 중복 되고,

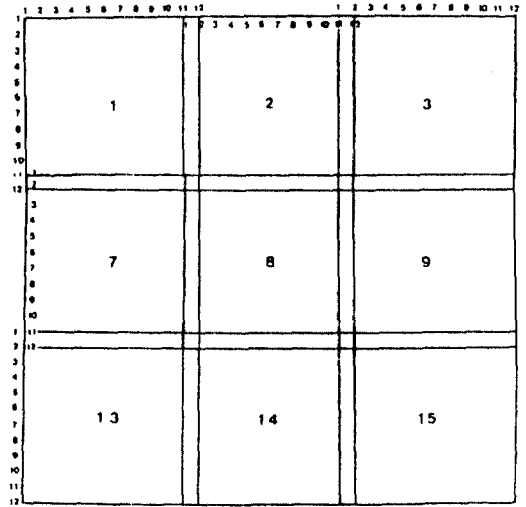


그림 9. Relation of overlap among the neighbor sectors

9번 구역의 1,2열은 8번 구역의 11,12열과 중복된다. 이렇게 구성된 행렬의 처리 결과는 52×62의 외곽이 제거 된 50×60이 출력 되는 것이다. 위와 같은 방법에 의하여 자료를 구성한다면 광범위한 지역의 자료, 또는 좁은 지역의 자료라도 조밀하게 얻어진 자료 등을 용량의 영역에 구애받지 않고 자료를 처리할 수 있다.

이와같은 방법으로 설악산 지형 전체를 각 구역 별로 격자점 144(12×12)개에 대한 표고 자료를 수집하여 임의의 교란 표고 자료를 발생시키고, 유한 요소법을 적용하여 유형화된 표고 자료를 얻었다.

3.2 분석

유형화된 표고 자료를 얻는 과정에서 표고 경중률이 유형화물에 증대한 영향을 미치게 된다. 따라서 경사별로 표고 경중률은 0.01부터 0.06까지는 0.01씩 증가시켰으며, 그리고 0.1부터 0.5까지는 0.1씩 증가시켜 적용하였다. 각 경우의 격자점에서 취득한 기준자료와 표고 경중률 적용시 계산되는 유형화된 표고자료 사이의 표준편차는 표 1과 같으며 이것을 도시하면 그림 10과 같다.

그 때의 격자점에서 얻은 표고 자료와 유형화시킨 표고 자료 사이의 표준편차가 최소가 될 때, 그 때의 표고 경중률을 최적 표고 경중률로 결정하였다. 이런

표 1. Correlation of the height weight vs. standard deviation of residual by changing of slope (unit: m)

height weight \ slope	0.40	0.60	0.80	1.00	2.00
0.01	8.542	9.695	8.862	9.122	8.615
0.02	6.415	6.752	6.590	6.884	6.495
0.03	5.850	5.966	5.979	6.248	5.981
0.04	5.667	5.698	5.765	5.994	5.808
0.05	5.606	5.596	5.680	5.871	5.739
0.06	5.590	5.558	5.645	5.804	5.710
0.10	5.630	5.564	5.637	5.712	5.698
0.20	5.731	5.649	5.692	5.685	5.732
0.30	5.779	5.693	5.723	5.685	5.753
0.40	5.806	5.719	5.741	5.687	5.764
0.50	5.824	5.735	5.753	5.688	5.772

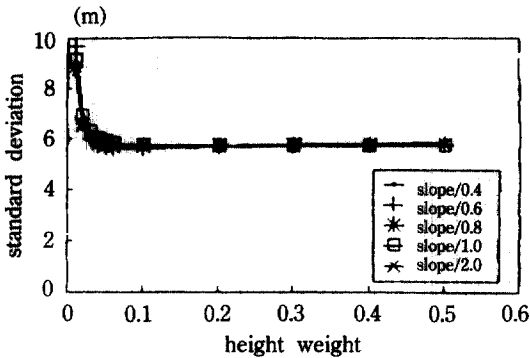


그림 10. Diagram of the height weight vs. standard deviation of residual by changing of slope

과정을 경사별로 적용하여 얻어진 각각의 표고 경중률에 따른 유형화에 대한 표준편차를 분석하기 위하여 평균하여 그림으로 나타내면 그림 11과 같다. 그러나 그림 11은 P_0 값이 약 0.05 부근에서 감소율이 급격히 떨어지나 상세히 보여주지는 못하고 있다. 앞에서 이미 설명하였듯이 실제 지형에 가깝게 재현하기 위한 유형화 과정에서 표고 경중률은 매우 중요한 역할을 하므로 좀 더 정확하게 분석할 필요가 있다. 따라서 그림 11에서 표고 경중률 0.01에서 0.06 까지의 부분만을 확대하여 그래프로 나타낸 것이 그림 12이다. 이 그래프의 곡선을 만족시키는 적합 방정식은 식(8)과 같으며 그의 상관계수는 0.9998896

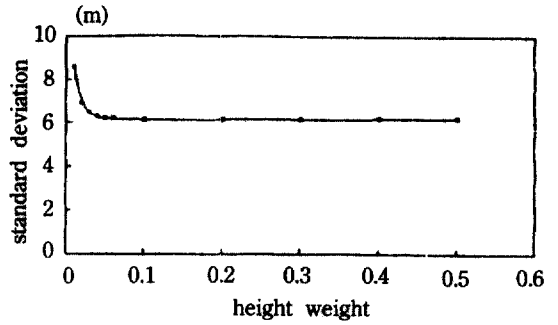


그림 11. Diagram of the height weight vs. standard deviation of residual by the mean of slope

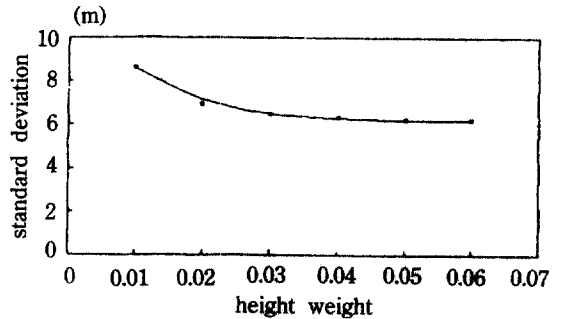


그림 12. Magnified variogram of the height weight vs. standard deviation of residual by the mean of slope

이다.

$$Y = 1900625 X^4 - 312987.6 X^3 + 20330.72 X^2 - 578.6029 X + 12.63772 \quad (8)$$

이 방정식에서 극소값에 대응하는 표고 경중률을 구하여 보면 0.05에서 결정된다. 따라서 최적의 표고 경중률 0.05는 실제 지형의 어느 상황에서도 적용할 수 있음을 발견하였다.

또한 유형화율(Q)을 파악하기 위한 임의의 교란된 표고 자료에 대한 유형화된 표고 자료의 백분율은 임의의 교란된 표고 자료(N)와 유형화된 표고 자료(S)와의 차이(NS)를 격자점에서 획득한 기준 표고 자료(R)와 임의의 교란된 표고 자료(N)와 차이(RN)로 나눈 것이다.

즉,

$$Q = \frac{||RN| - |RS||}{|RN|} \times 100 \quad (9)$$

표 2. Correlation of the height weight vs. smoothing ratio by changing of slope (unit:%)

height weight	slope		
	0.05	0.48	0.83
0.01	71.299	74.795	85.035
0.02	52.854	41.359	44.739
0.03	41.349	28.547	30.385
0.04	33.824	21.789	22.973
0.05	28.565	17.617	18.478
0.06	24.697	14.785	15.455
0.07	21.736	12.737	13.282
0.08	19.401	11.188	11.643
0.09	17.514	9.974	10.366
0.10	15.957	8.998	9.341

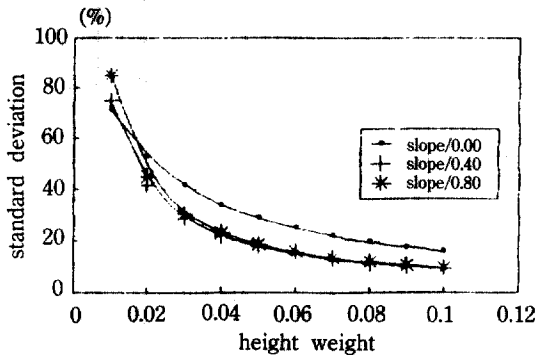


그림 13. Diagram of the height weight vs. smoothing ratio by changing of slope

$$Q = \frac{|NS|}{|RN|} \times 100 \quad (10)$$

이다.

이와 같은 방법으로 각 경사에 따른 표고 경중률과 유형화률과의 관계를 분석하면 표 2와 같고 이것을 도시하면 그림 13과 같다. 그림 13에 나타낸 바와 같이 표고 경중률이 증가함에 따라 유형화률이 낮아 지므로 유형화률을 증가시키기 위해서는 표고 경중률이 작아 져야 한다는 것을 알수 있다. 그러나 그림 12에서 알수 있듯이 작아 질 경우에는 표준편차가 급격히 커지므로 그의 신뢰도가 떨어진다. 따라서 적당한 유형화률을 유지하면서 표준편차를 줄일수 있는 최적의 표고경중률은 0.05 임을 알수 있다.

표 3. Correlation of the slope vs. standard deviation of residual (unit:m)

slope	standard deviation	slope	standard deviation
0.03	3.744	0.45	6.015
0.05	9.080	0.48	5.455
0.10	5.685	0.50	7.116
0.17	5.644	0.56	5.638
0.22	5.420	0.59	6.393
0.24	7.114	0.63	5.117
0.25	5.680	0.67	6.777
0.26	6.387	0.70	6.504
0.32	5.829	0.71	5.596
0.33	5.825	0.76	6.118
0.34	6.622	0.83	5.836
0.36	6.199	0.91	5.429
0.40	5.739	1.00	4.984

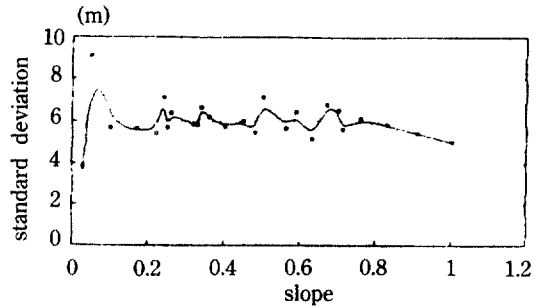


그림 14. Diagram of the slope vs. standard of residual

또한 유형화 시키는 과정에서 지형의 경사와 표준편차 사이의 관계를 분석하기 위해 계산한 결과는 표 3이며 이것을 도시하면 그림 14와 같다. 이 그림에서 알 수 있듯이 지형의 경사 변화는 유형화의 표준편차에 거의 영향을 주지 않는다는 것을 알수 있으며, 또한 경사와 곡률 경중률의 관계를 알기 위하여 분석한 결과인 표 4 및 그림 15에서 알 수 있듯이 곡률경중률은 경사가 증가함에 따라 감소함을 알수있다.

그림 16은 지형도에서 취득한 격자점 52×62(3224개)에 대한 표고자료 즉 기준자료를 이용하여 수치 표고모델에서 표현한 등고선도이며, 그림 17을 그리는데 사용된 자료는 교란 자료로 이 자료는 기준

표 4. Correlation of the slope vs. curvature weight

slope	curvature weight	slope	curvature weight
0.03	0.003	0.45	6.00E-05
0.05	0.001	0.48	1.30E-04
0.10	9.90E-04	0.50	1.30E-04
0.17	3.50E-04	0.56	8.00E-05
0.22	3.70E-04	0.59	8.00E-05
0.24	1.10E-04	0.63	9.00E-05
0.25	3.00E-05	0.70	9.00E-05
0.26	3.00E-05	0.71	1.40E-04
0.32	7.00E-05	0.71	1.40E-04
0.33	1.10E-04	0.76	1.10E-04
0.34	1.20E-04	0.83	1.40E-05
0.36	1.10E-04	0.91	1.90E-04
0.40	1.00E-04	1.00	3.00E-05

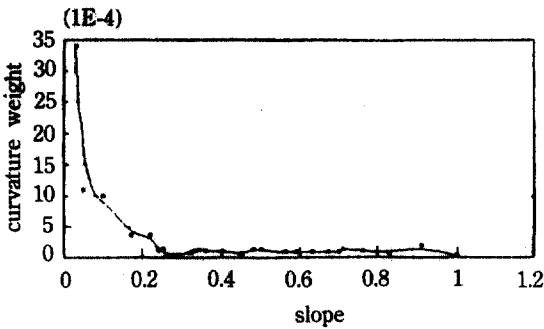


그림 15. Diagram of the slope vs. curvature weight

자료에 임의의 오차를 발생시켜서 생성된 것으로, 오차 한계는 20m 이내이다. 이러한 결과로 그림 16 과 그림 17을 비교하여 보면 분명 오차가 발생하여 비교가 되어야 하나 별다른 차이점을 발견할 수가 없다. 그 이유는 오차는 20m 이내인데 등고선의 간격은 100m로 되어있어 발생된 오차를 흡수해 버리기 때문이다.

그림 18은 지형도에서 취득한 기준자료를 최적 표고경중률 0.05를 적용하여 유형화 시킨 표고자료를 이용하여 설악산의 투시도를 그려낸 것이다. 이 투시도는 도북을 중심으로 220° 시계방향으로 회전시키고, 45° 각도로 내려다 본 것이다. 또한 시각적 효과를 증대 시키기 위하여 수평거리에 대한 높이의 비를 1:2 표시하였다.

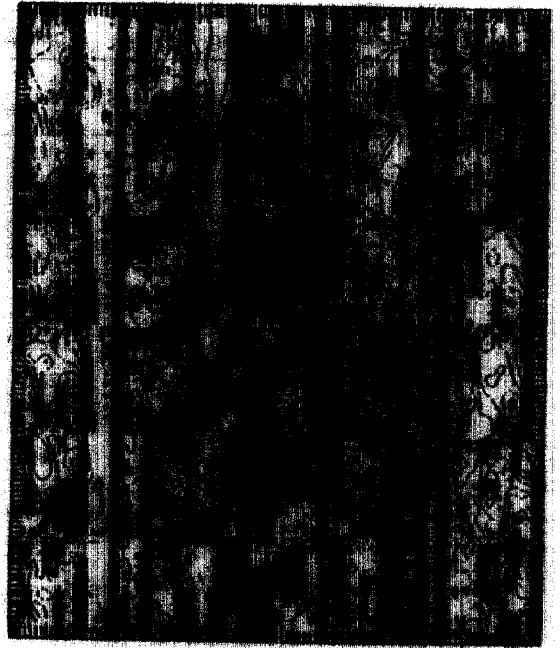


그림 16. Contour map of DEM constructed by reference data(contour interval=100m)



그림 17. Contour map of DEM constructed by noise data(contour interval=100m)

감사의 글

이 논문은 1991년도 교육부 지원 한국학술진흥재단의 대학부설 연구소 지원 학술조성비에 의하여 연구되었으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Stefanovic, P., Radwan, M.M., and Tempfli, K., "Digital Terrain Model : Data Acquisitions", *ITC-Journal*, 1986, pp.61-76.
2. 권현, "수치지형모델에 있어서 지형의 분류에 따른 보간법 적용에 관한 연구", 연세대학교 박사학위논문, 1988.
3. Makarovic, B, "From Digital Terrain Components to Intergrated system in Photogrammetry", *ITC Journal*, 1974, pp.581-.
4. Murchison, D.E, "*Surveying Photogrammetry*", Senior Lecturer, University of Surry, 1977, pp.91-108.
5. Allan, M.M, "DTM Application in Topographic Mapping", *PE & RS*, Vol.44, No.12, 1978, pp.1513-1520.
6. Hallman, B, "AI Representation Nordisk ADS du Terrain", *Photogrammetric et etuds dautoroutes, Bulletin*, No.27, 1967.
7. 유복모, "측량학 원론(I)", 개문사, 1984, pp.98-101.
8. Ebner, H. and Reiss, P, "Experiences Withight Interpolation by Finite Elements", *ASP-SCSM Fall Technical Meeting S.Franisco*, 1981.
9. Moritz, h., "*Approximation Methods in Geodesy*", Herber Wichmann Verlag Karlsruhe, 1978.
10. 양인태, 최승필, "수치지표고모형에서 경사와 곡률 경증률의 영향", *한국측지학회지*, Vol.8, No.2, pp. 47-48.
11. Norrie, D.H, and Vries, G., "*An Introduction to Finite Element Method*", Academic Press Inc, 1978.
12. El Ghazalli, M., "Numerical Investigation of Progressive Sampling for Digital Terrain Models", Masters Thesis, *ITC Journal*, 1974.

(接受 : 1992. 7. 3)

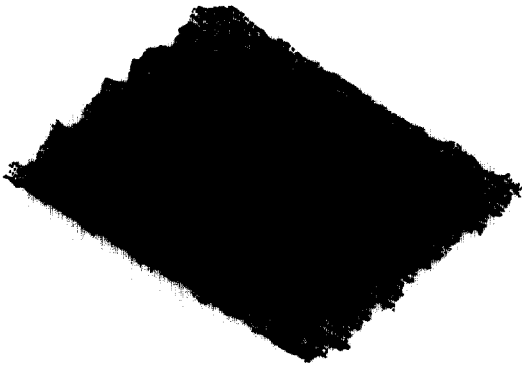


그림 18. Perspective view of DEM constructed by referedce data

4. 결 론

유한 요소법에 의한 수치표고모델의 유형화를 연구하기 위하여 설악산 지역에 실제 적용하여 비교 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 유형화에 특히 큰 영향을 주는 표고 경증률 X 와 유형화의 표준편차 Y 와의 관계식 $Y=1900625 X^4-312987.6 X^3+20330.72 X^2-578.6029 X+12.63772$ 을 얻을 수 있었다.

2) 유한 요소를 이용하여 수치표고모델을 유형화 하는 과정에 있어서 경사가 변함에 따라서 표준편차의 변화는 별로 없었으며, 이 경사는 곡률 경증률과는 역비례 관계임을 알 수 있었다.

3) 유한 요소의 적용에 의한 수치표고모델의 유형화에서 최적 표고 경증률은 0.05이며, 경사가 불규칙한 실제의 설악산 지역에서도 잘 적용 되었다.

4) 본 연구에서 이용한 중첩법에 의한 행렬 구성은 제한된 소구역에 대해서 만이 아니라 아주 광범위한 지역 일지라도 접합점을 연결하는 기법에 의해 연속된 지형의 수치표고모델을 구축할 수 있으므로 매우 경제적이 있다.