

정규격자 수치고도모델의 생성과 정확도 분석에 관한 연구 A Study on Production and Accuracy Analysis of Grid Digital Elevation Models

조규전* · 조영호** · 정의환***
Kyu-Jon Cho · Young-Ho Cho · Eui-Whan Chung

要 旨

국가수치지도의 고도정보를 바탕으로 정확하고 효율적인 정규격자 수치고도모델을 생성하는 데에 있어서는 기초 자료로 제공되어진 고도정보의 배치 형태와 수, 정확성을 유지하기 위한 기준점의 추가 방법, 수학적 추정 보간방법의 선택이 가장 중요하게 고려되어야 할 것이며, 이들의 이상적인 배합은 추정 고도의 정확성에 결정적 영향을 줄 것이다. 본 연구는 국가 수치지도에 이미 구축되어 있는 고도자료를 이용하여 정규격자 수치모델의 생성을 위한 다양한 격자망 간격과 일반적으로 수치고도모델 처리 프로그램에서 가장 많이 적용되고 있는 보간 방법들에 대하여 수치적 실험을 통한 문제점을 분석한 후, 가장 최적의 격자간격과 보간 방법을 제시하는데 목적을 두었다. 수치시험 결과 정규격자 수치고도모델의 생성에는 크리깅 보간방법이 표준오차가 가장 적게 계산되어 정확성 면에서 매우 우수한 결과를 가져 왔으며, 정규 격자망 간격은 생성할 등고선 간격의 2배가 가장 최적이라는 결과를 가져왔다.

ABSTRACT

For the purpose of producing of grid D.E.M based on National Digital Map accurately and efficiently, We must carefully consider arrangement and numbers of it's elevation information, supplement interpolation method of control point information for maintaining accuracy. According to each combination, each of them has an effect on estimate elevations. This study, after finishing experimental analysis of several grid distance and interpolation methods, aims at presenting the optimal grid distance and interpolation method in the production of grid D.E.M by using of National Digital Map. The results are as follows: First, The result of experimental analysis shows that the method of Kriging is a very excellent interpolation method in the production of grid D.E.M by using National Digital Map. Second, For the purpose of determining grid distance, this study present that twice of the amount of contour interval to make producing grid D.E.M is optimal distance.

1. 서 론

수치고도모델의 생성 방법은 표현 기법에 따라서 수학적 모델 (광역 함수법, 지역함수법)과 이미지 모델 (선형, 점형)로 구분 할 수 있다. 수학적 표현 기법은 연속적인 3차원 함수(푸리에 급수, 다차다항식 등)로써 전체 또는 지역적으로 거의 동일 면적으로 나누어 대상 지역의 기복을 평활하게 나타내는 방법으로 토양, 지하

수, 그 밖의 환경정보의 공간적 변동을 표현 하는데 많이 이용되나 지도학에서는 이미지 기법이 기준이 되어 사용되고 있다. 이미지기법 중 선형모델 기법은 지형의 기복을 등고선(X,Y), 단면선(Y,H), 지성선(X,Y,H) 등으로 나타내는 방법으로, 이러한 모델은 지형의 경사의 분석 및 음영의 기복을 나타내는 모델, 기타 일반적으로 고도자료를 이용하는 설계 분야, 자료의 분석 분야에는 부적합 할 때가 많다. 그러기 때문에 사용빈도가 많이 요구되는 이산고도행렬형태의 점형 모델로 변환되어 이용되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 이미지 선형모델 형식을 조합하여 구축된 수치지도(Digital Map)를 이용하여 점형모델 중 최적화 정규격자 수치고

*경기대학교 토목공학과 교수

**인덕대학 토목환경과 교수

***경기대학교 토목공학과 박사과정

도모델로 생성하는 최적화 방법에 대하여 연구하고자 하였다. 연구 방법은 각종 실무 프로그램에서 가장 이용빈도가 높은 3가지 생성방법(역거리법, TIN, Kriging)에 대하여 정규격자 간격을 다양화하여 수치시험을 실시하고 그 결과에 대한 등고선 작도 후 중첩을 통한 시각적 분석과 수치적 오차 분석을 하였다. 연구 대상 지역은 국가기본지형도 1:5,000 (공주지역)에서 완만한 경사지역과 산악지역 2개 지역을 표본으로 선정하였으며, 스케너 방법에 의한 선형모델을 조합한 수치지도(400m × 500m, 등고선 간격 5m)를 제작하여 수치시험에 적용하였다.

2. 수치적 보간에 따른 이론

2.1 기준점 고도정보의 분석

지표상 미지점의 고도를 주위의 기지 관측점(기준점)으로부터 수치적 처리를 통해 추정 한다는 것은 기준점의 관측방법(정규, 비정규 격자, traverse, 직선,곡선 등의 배치형태와 간격), 기준점들의 수, 수치적 계산을 위한 보간방법(interpolation method), 이 3부분의 이상적 조합에 따른 성과라 할 수 있다. 이 성과의 최대의 목표는 무엇일까? 그것은 수치적으로 추정되어진 고도의 정확성에 둘 것이다. 그러므로 고도의 정확성을 유지하기 위해서는 사용자의 대상 목적을 위하여 획일적인 방법을 적용할 것이 아니라 이 3부분의 상호 관계를 사전에 철저히 분석한 후, 선별 적용되어야 할 것으로 생각된다. 기준점들의 관측방법과 수는 서로 항상 상호 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 독자적으로 분석할 수 없어 이를 한 분류로 생각하면 분석 방법은 크게 2 가지 방법으로 구분 될 수 있을 것이다. 제1방법은 기준점들의 관측방법과 수를 규칙적 또는 불규칙적으로 선택하여 먼저 고도 정보를 결정 해놓고 추출된 기준점들의 상호 관련성을 고려하여 수치적 보간 함수를 선정 적용하는 방식. 제2방법은 수치적 보간 함수를 먼저 결정한 후 보간 함수의 특성에 잘 적용 될 수 있는 형식으로 기준점들을 선정하는 방식이다. 어느 방법이 더욱더 효율적인지는 사용자가 요구하는 정도와 작업에 따르는 제한 조건 등에 따라서 많은 시간과 경비가 차이를 가져 올 것이다. 그러므로 이 분야에 대한 많은 실험적 연구가 요구되어진다. 본 연구에서 국가수치지도를 이용한 정규격자 수치고도 모델(grid D.T.M)의 생성에 적용될 고도자료는

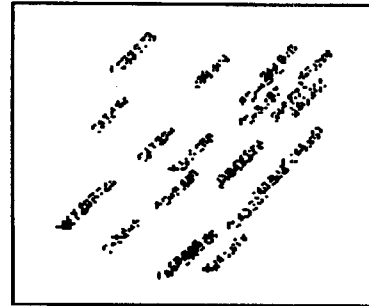


그림 1. 독립적 고도정보

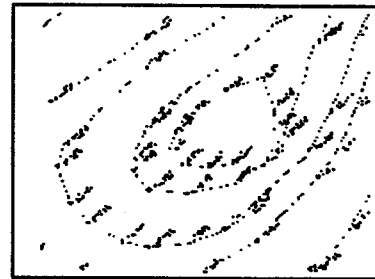


그림 2. 연속적 고도정보

지상측량에서 일반적으로 획득되어지는 서로가 조금씩 높이가 다르며 무작위성 독립적 고도정보(그림 1 참고)가 아니고 하나의 등고선을 개체(segment)로 묶는 연속 추출형식으로 즉, 동일 개체 내에서는 동일한 고도값과 선형적 관계를 유지하는 무작위 추출된 연속적 고도정보(그림 2 참고)로 구성되어 있다. 따라서 구축되어져 있는 고도정보를 이용한 수치고도모델의 생성이므로 제1방법에 해당될 것이다. 생성에 따른 후속 작업은 수치적 보간방법 및 수치고도모델의 최적화 격자 간격의 선정이 최우선 과제라 할 수 있다. 본 연구에서는 수치적 시험을 통하여 최적의 수치적 보간방법과 격자간격 선정을 정확도를 바탕으로 제시하고자 하였다.

2.2 수치적 적용 보간방법

2.2.1 역거리 보간방법(Inverse Distance Method)

이 방법은 매우 광범위 하게 쉽게 사용되고 있는 방법으로 “독단적인 위치의 값을 선정하기 위한 계산을 할 때 측정 거리 보다 가까운 이웃점들의 값이 더욱 영향력이 있다는 직관적인 개념”인 톨블러의 법칙(Tobler's law of geography)을 바탕으로 한다. 고도의 추정점(interpolation point)과 영향을 미치는 구역 내의 기

준점들 사이의 지형학적 관계 요소로서 거리의 역수를 가중값으로 적용한다. 이 방법은 분명하게 두가지 문제를 내포하고 있다. 첫째는 불연속 경사의 표면은 연속된 경사의 표면에서 얻어지는 성취감과 동일한 결과를 이루어 낼 수 없다. 둘째는 거리가 너무 멀거나 너무 가까운 값은 전체적 평균을 구할 때 상당한 영향이 작용되기 때문에 지역적으로 세밀한 효과를 가져올 수 없다는 것이다. 이러한 단점은 역거리 보간방법이 본질적으로 일차원적인 해법을 적용하고 있기 때문이다.

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

여기서 Z_p : p점의 추정 고도

h_i : 계산에 사용되는 이웃 기준점(i)의 고도

W_i : 고도 추정점과 이웃 기준점과의 거리의

역수($\frac{1}{d_i}$)

2.2.2 크리깅(Kriging)

여러가지의 지질학적 표면들은 실제와 개념 사이의 관계에서 영역 변수(regionalized variable)로 간주할 수 있다. 아울러 이러한 지질학적 표면이 지역적으로 서로가 연속적이면 공간적으로 가까운 거리에 위치한 지역들은 상관 관계를 가지고 있다. 그러나 불규칙적인 표면 상에 넓게 분포된 점들은 통계학적으로 독립적인 경향을 보이고 있다. 영역 변수에 대한 공간적 연속성의 척도는 semi-variogram에 의하여 표현되며, 이미 semi-variogram의 형상은 알려져 있다. 흩어져 추출된 기준점들로부터 구한 semi-variogram에 의하여 보간에 필요한 최적화 가중치가 계산되어지므로 추출되지 않은 지점의 고도 추정이 가능한 것이다. 이러한 계산 과정을 크리깅이라고 부른다. 크리깅은 등고선 지도를 생성하는데 사용될 수 있으며 전통적인 등고선 제작 알고리즘과 닮지는 않고, 추계학적 최적화 특성을 확실히 가지고 있다는 것과 이 방법으로 생성된 등고선 고도에 대한 오차와 불확실성을 측정하는 방법을 제공하고 있다는 고유의 특성을 가지고 있다는 것이다. semi-variogram은 거리의 함수이기 때문에, 가중치는 추출점의 지리학적 배열에 따라서 바뀌어지며 다음 식으로부터 계산 되어 진다.

$$2\gamma^*(h) = \frac{1}{n} \sum [g(x) - g(x+h)]^2 \quad (2)$$

여기서 $\gamma^*(h)$: experimental semi-variogram

h : 표본점 간의 간격

n : 표본점 쌍의 수

$g(x)$: 표본점의 고도

2.2.3 비 정규 삼각망(T.I.N.)법

비 정규 삼각망(Triangulated Irregular Networks; T.I.N.)은 불규칙하게 위치해 있는 데이터의 상호 기하학적 관계를 고려하여 지형의 3차원적인 표현을 가능케하는 데이터 구조의 하나이다. 불규칙한 TIN 구조는 정규 격자망형태의 데이터 구조와는 달리 불규칙적인 상태이므로 상호 점들간의 이웃성의 인식에 어려움이 있으므로 데이터의 구축은 그리 쉽지는 않다. 그러나 지형의 특성이나 대상 지형의 경계선에 관계없이 표면을 묘사할 수 있어 불규칙한 경계선을 가진 수치고도모델의 생성에는 가장 이상적 묘사방법이라 할 수 있다.

TIN을 구성시키는데 있어서 가장 중요한 문제는 무작위로 추출된 소수의 점으로부터 지형을 가장 정확히 묘사하기 위해서는 이웃점들과의 관계를 잘 확보 할 수 있는가에 달려있다. 다시말하면 삼각망 구성(분할)에 어떠한 방법을 적용하는가 하는 것이다. 이때 구성되는 삼각망은 (1) 정삼각망이 되도록 한다. (2) 가능한 고도의 차가 최소가 되도록 한다. (3) 삼각망의 가장 긴변은 가능한 짧게 구성되도록한다. 이 3가지 조건을 만족하여야 하는데 이러한 조건을 가장 잘 만족시키며 지형에 잘 일치되는 최적화 알고리즘인 Delaunay 삼각구분법이 일반적으로 가장 많이 사용되고 있다.

1) 델로니 삼각구분법(Delaunay triangulations)

델로니 삼각 분할은 그림 3처럼 임의점 A점을 둘러싸

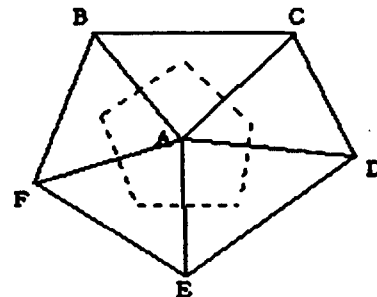


그림 3. Delaunay triangles

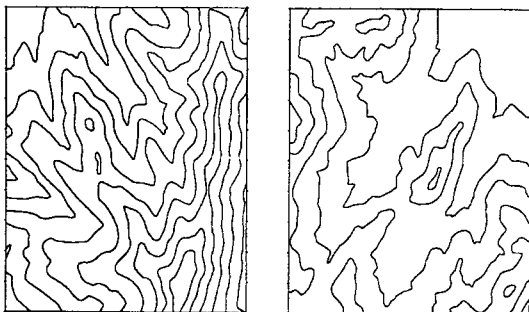
고 있는 다각형안의 모든 점들이 B,C,D,E점에서 보다, 더 가까운 다각형을 A점에서 생각해 볼 수 있는데 이러한 조건을 만족하는 다각형을 티센다각형(Thiessen polygon)이라고 하며, 이 다각형은 선분 AC, AD, AE, AF의 수직 이등분선에 의하여 만들어지게 된다. 이 때 점 B,C,D,F를 점 A의 티센 이웃점(Thiessen neighbors)이라고 하며, 이와같이 티센 다각형이 형성될 수 있도록 구성된 삼각형 BAC, CAD, DAE, EAF, FAB가 델로니 삼각형(Delaunay triangles)이다. 이와 같은 조건을 만족하는 델로니 삼각형 또는 티센 다각형의 집합은 유일한 것이다. 비정규삼각망을 델로니 삼각구분법으로 구성시키는 알고리즘은 (1) divide-end-conquer 방법, (2) incremental insertion 방법, (3) triangulation growth 방법으로 크게 3가지로 분류될 수 있다.

3. 수치시험

3.1 연구대상지역

충남 공주 지역 1:5,000 국가수치지도에서 400×500m 구역의 산악지역과 완만한 경사지역을 선정하여 주곡선(5m) 등고선만 추출한 후, 축척 1:1,000 도면을 제작(그림 4) 수치시험에 적용하였으며, 오차의 분석과 정확도 계산을 위하여 대상 지역 위에 10m × 10m 정규격자망을 덮어씌우고(그림 5) 선형 보간법에 의해 도상에서 수직점으로 sample당 2,091점의 격자점 고도를 선형 보간법으로 계산하여, 분석에 따른 기준 데이터로 적용하였다.

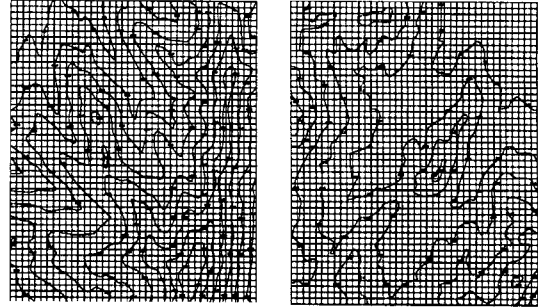
3.2 수치시험 방법



(a) SAMPLE-1
산악지

(b) SAMPLE-2
완만한 경사지

그림 4. 연구대상지역



(a) SAMPLE-1

(b) SAMPLE-2

그림 5. SAMPLE 당 2,091(41×51)점의 고도측정

수치시험 방법은 다음과 같이 5부분으로 나누어 실시하였다.

첫째, 기준 격자간격을 10m로 선정하고 이 간격을 기준으로 1/2배(5m), 2배(20m)로 변화시켜 각 보간방법(역거리방법, Kriging, TIN)을 적용시킨 후, grid DEM을 생성하고 그 결과에 따라서 등고선도(등고선 간격 5m, 축척 1:1,000)를 제작.

둘째, 이렇게 생성된 DEM의 수치적 고도오차의 분석을 하기에 앞서 원도와 시각적 비교를 하므로써 각 보간방법에 따른 최적화 격자간격의 선정.

셋째, 최적화 격자간격으로 선정된 grid DEM의 고도오차를 분석하기 위하여 (1) 원도와의 중첩, (2) 수치적 고도오차의 계산.

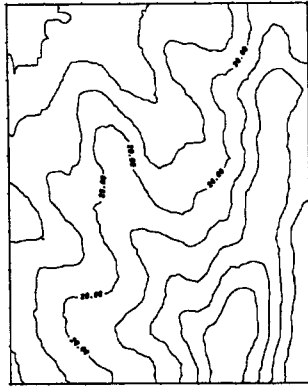
넷째, 계산되어진 수치적 고도오차 값을 바탕으로 허용오차(생성할 등고선 간격의 1/2)를 벗어나는 격자점들의 고도오차 수치적 분포와, 원도에 지역적 분포도면의 작성.

다섯째, 위 결과를 바탕으로 보간방법들의 문제점을 분석하고 정확도 있는 grid DEM 생성에 따른 최적화 보간방법의 제시.

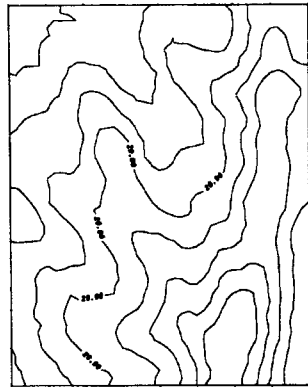
3.3 수치시험 성과의 분석과 기준점 추가 방법

3.3.1 성과의 분석

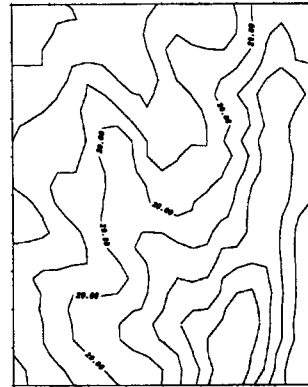
1) 그림 6, 7에서 보는 바와 같이 역거리 보간방법을 적용했을 때에는 다양한 격자 간격에 따라서 생성된 grid DEM의 등고선 형상이 거의 유사한 결과를 가져와 격자간격에 따른 영향이 가장 적었으며, Kriging 과 TIN 방법을 적용했을 때에는 격자간격에 따라서 생성되어진 grid DEM의 등고선 형상이 눈에 띄게 변화되어 있어 격자간격이 수치고도모델의 정확성에 많은 영



(a) 5m 격자간격

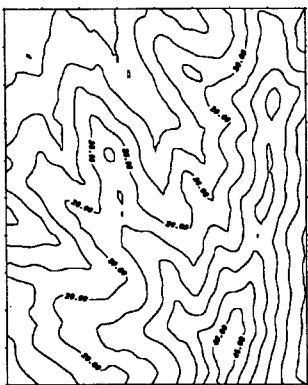


(b) 10m 격자간격

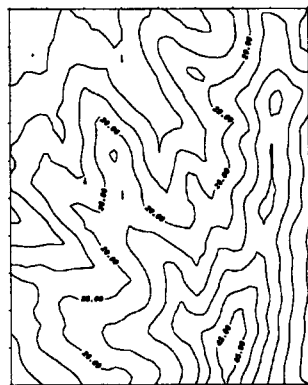


(c) 20m 격자간격

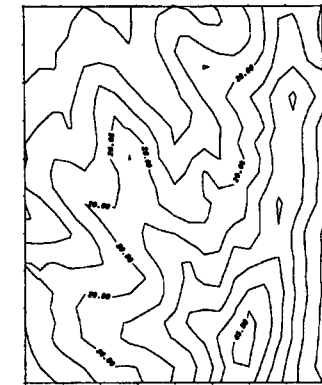
역거리 보간법



(a) 5m 격자간격

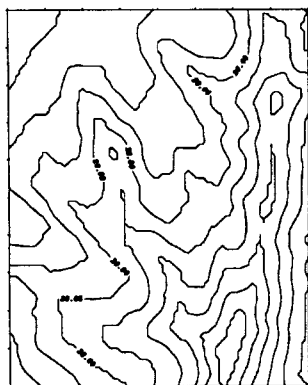


(b) 10m 격자간격

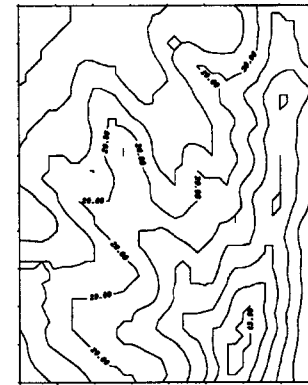


(c) 20m 격자간격

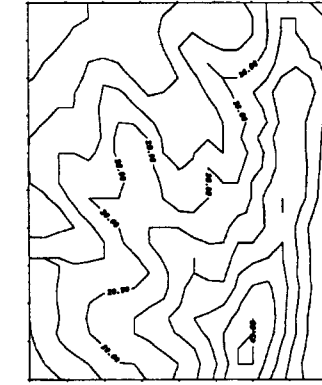
Kriging



(a) 5m 격자간격



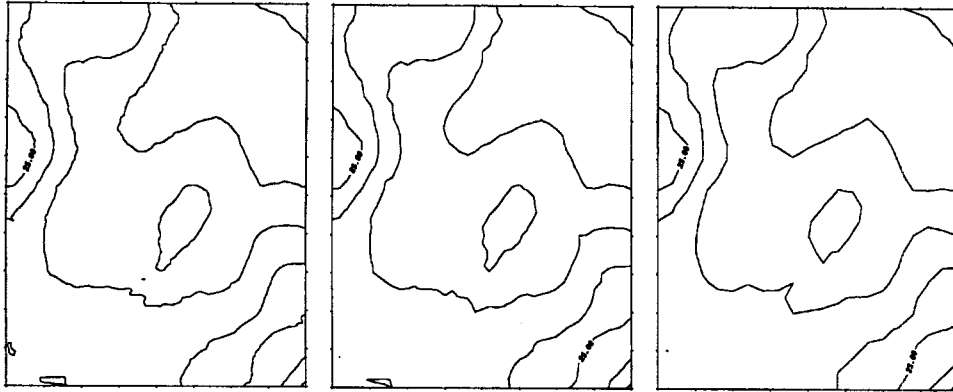
(b) 10m 격자간격



(c) 20m 격자간격

TIN

그림 6. SAMPLE-1(산악지역)

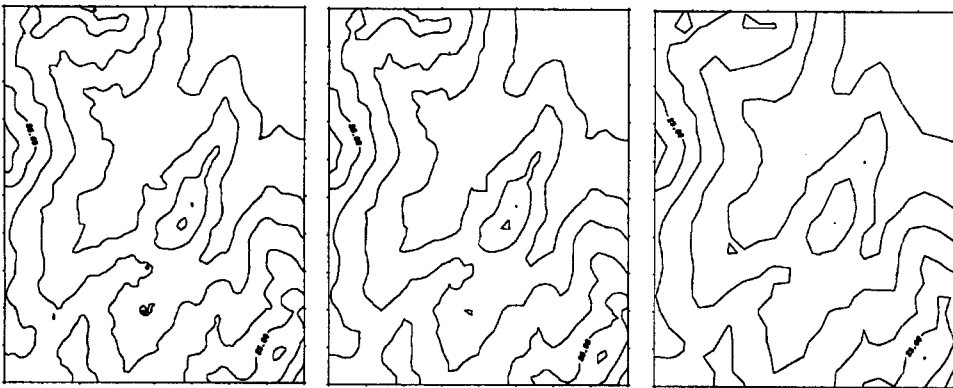


(a) 5m 격자간격

(b) 10m 격자간격

(c) 20m 격자간격

역거리보간법

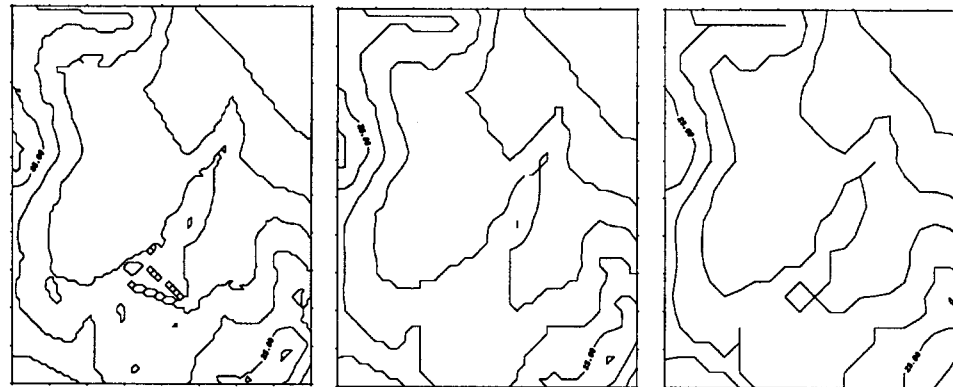


(a) 5m 격자간격

(b) 10m 격자간격

(c) 20m 격자간격

Kriging



(a) 5m 격자간격

(b) 10m 격자간격

(c) 20m 격자간격

TIN

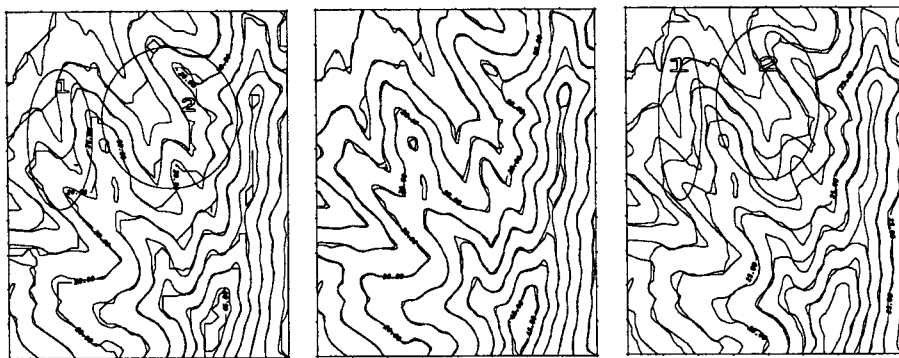
그림 7. SAMPLE-2(완만한 경사지)

향이 미친다는 것을 알 수 있었다.

2) 원도와 생성된 grid DEM 등고선을 시각적으로 비교를 했을 때(그림 6, 7), 역거리 보간방법은 너무 등고선 형상이 단순화 되어 격자 간격에 관계없이 거의 다른 지역처럼 재생 작도 되었으며, Kriging, TIN 방법은 등고선의 간격이 클 때(격자 간격 20 m)는 역거리 방법과 흡사하게 형상이 단순화되어 많은 시각적 차를 보여주었다. 격자 간격이 적어질수록 원도면과 흡사해지는 결과를 가져왔다. 그러나 기준 격자간격(10 m)의 1/2, 즉 5 m 간격으로 좀 더 조밀하게 생성된 grid DEM으로부터 작도된 등고선도에서는 island(도면 상에 작게 폐합 되는 등고선)가 많이 생기는 결과를 보여주었다. 특히 지역적으로는 산악지역보다 완만한 경사지에서

즉, 도상에서 등고선의 수평 간격이 커질수록 그러한 현상이 많이 나타나고 있었다. 그러므로 필요 이상의 조밀한 격자 간격은 grid DEM생성에 따른 작업시간의 과다(10 m 격자간격 생성 시간의 약 3~6배)만 가져올 뿐 정확도의 향상은 어느 한계 이상은 기대하기가 어렵다는 것을 알 수 있었다.

3) 위와 같은 분석을 통하여 볼 때 기준 격자망으로 선정한 10 m간격이 가장 정확성 있고 효율적인 격자간격으로 판단되었다. 본 연구에서는 이러한 시각적 분석의 결과를 확인하고 최종 결론을 확정하기 위하여 좀 더 세부적인 방법으로 고도오차 분석을 실시하였다. 분석방법은 원도와의 중첩(그림 8, 9)과 허용고도오차 이상의 고도오차를 수치적으로 계산하여 고도오차 등고



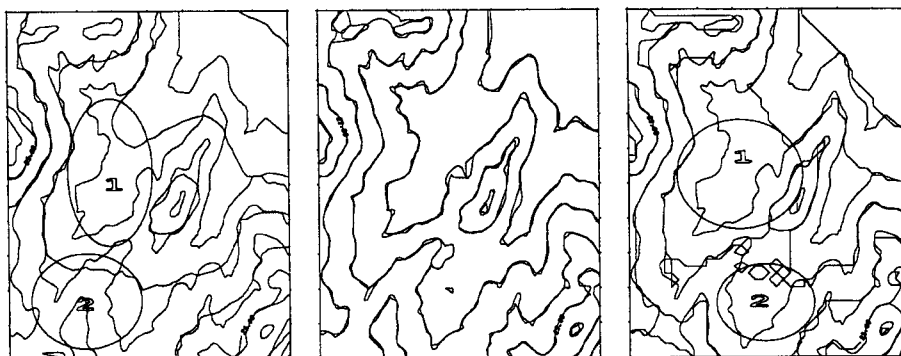
(a) 역거리보간법

(b) Kriging

(c) TIN

SAMPLE-1 (산악지)

그림 8. 원도와 중첩에 따른 시각적 분석



(a) 역거리보간법

(b) Kriging

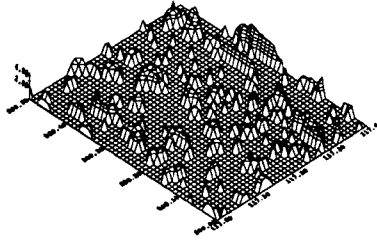
(c) TIN

SAMPLE-2 (완만한 경사지)

그림 9. 원도와 중첩에 따른 시각적 분석



(a) 고도오차 등고선

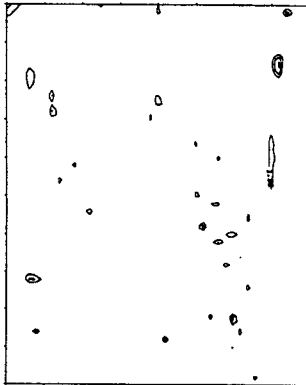


(b) 고도오차 입체모델

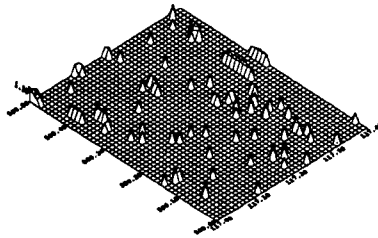


(c) 원도와 중첩

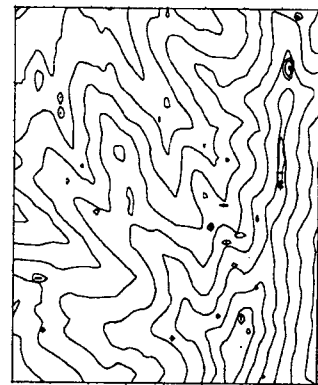
역거리방법



(a) 고도오차 등고선

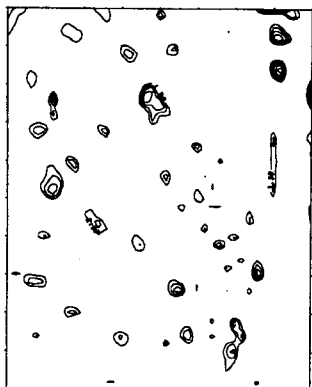


(b) 고도오차 입체모델

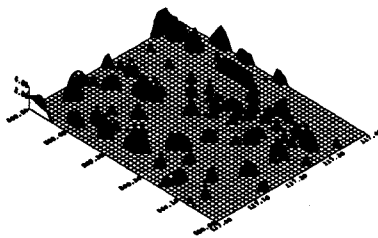


(c) 원도와 중첩

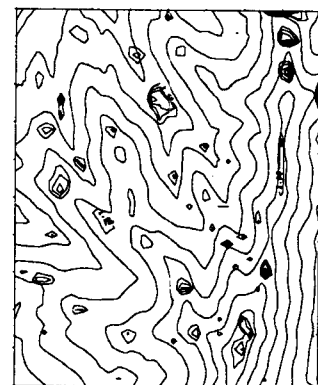
Kriging



(a) 고도오차 등고선



(b) 고도오차 입체모델



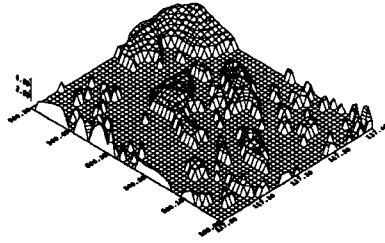
(c) 원도와 중첩

TIN

그림 10. 고도오차와 분포(SAMPLE-1)



(a) 고도오차 등고선

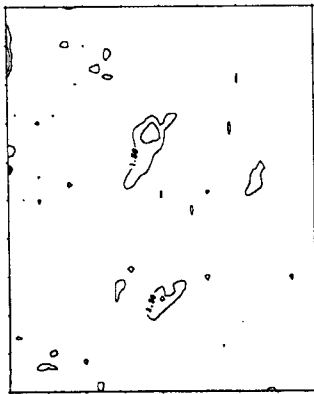


(b) 고도오차 입체모델

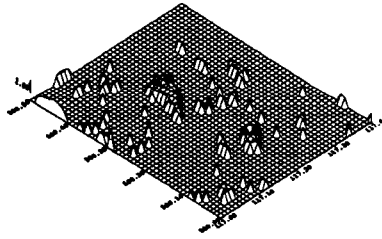


(c) 원도와의 중첩

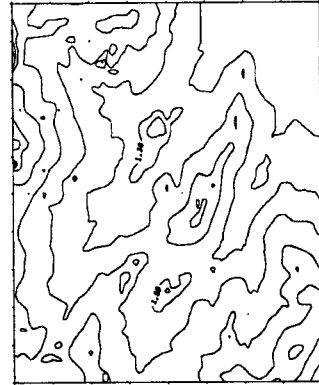
역거리방법



(a) 고도오차 등고선

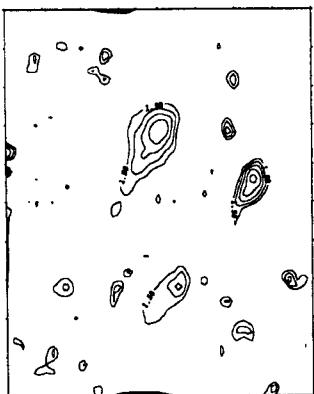


(b) 고도오차 입체모델

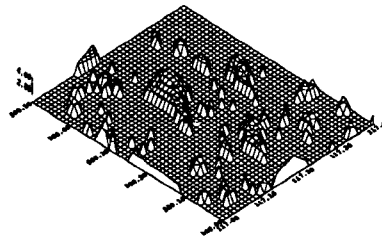


(c) 원도와의 중첩

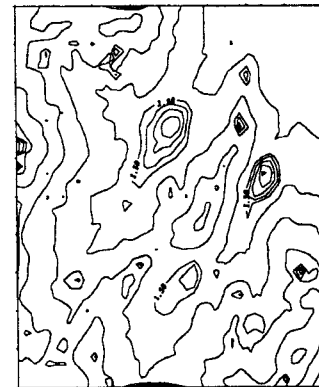
Kriging



(a) 고도오차 등고선



(b) 고도오차 입체모델



(c) 원도와의 중첩

TIN

그림 11. 고도오차와 분포(SAMPLE-2)

선도를 평면과 입체모델로 제작하고 원도면과 중첩하여 고도오차 분포지역을 작도하였다(그림 10, 11).

4) 원 도면과의 중첩 및 고도오차 분포도에서 각 보간방법에 따라 다음과 같은 특성을 분석할 수 있었다.

㉠ 역거리 방법

- 원 등고선을 재현할 수 있는 능력을 가지고 있지 못하고 있으며 재현된 등고선의 형상 또한 너무 단순화되어 많은 시각적 차를 가지고 있었다. 특히 그림 8, 9에서 지역인 능선이나 계곡 부분에서는 등고선의 형상이 완전히 왜곡되는 결과를 보였다.

- 고도오차의 분포가 산악지역이나 완만한 경사지나 할 것 없이 너무 산발적으로 분포되어 나타나고 있었으며 고도오차 값 또한 다른 보간 방법에 비해 크게 나타나고 있었다.

- 대상 지역의 경계(boundary)에서도 많은 고도오차가 발생하고 있어 경계치 보간 적용 방법에 많은 문제를 가지고 있었다.

㉡ Kriging 방법

- 전체적으로 복잡한 등고선도 완벽하게 재현시킬 수 있는 능력이 있었으며, 고도오차 또한 다른 보간 방법에 비하여 매우 적어 매우 우수한 결과를 보였다. 그러나 매우 완만한 지역 다시말해 등고선의 평면 간격이 큰 지역에서 island가 발생하고 있었다.

- 경계치 보간에 따른 문제도 별로 나타나지 않고 원 지형에 근접된 형상을 재현시키고 있었다.

㉢ TIN 방법

- 그림 8, 9의 지역인 능선이나 계곡 부분에서는 역거리 보간방법과 동일 하게 많은 형상의 차이를 보였지만 전체적으로는 역거리 방법보다는 좀 나아 보였다. 그러나 복잡한 등고선을 재현시키는 데에는 많은 문제점이 노출되었다.

- 고도오차의 크기 및 경계치 문제점 모두가 역거리 방법과 Kriging 방법의 중간정도 의 해법 능력을 가지고 있었다.

- 고도오차 분포도면에서 보면 다른 보간 방법에 비하여 특이한 것은 큰 고도오차들이 능선이나 계곡선을 따라 선형적으로 발생되고 있다는 것을 알 수 있었다.

3.3.2 기준점 추가 방법

위의 분석을 통하여 보다 더 정확한 grid D.E.M을 생성하기 위해서는 기준점의 추가가 각 보간 방법에 따라서 다음과 같은 방법에서의 첨가 되어야 할 것으로 생각된다.

1) 역거리 보간방법

허용고도오차를 벗어나는 고도오차가 전 지역에 걸쳐 산발적으로 분포되어 있으며, 아울러 고도오차 또한 큰 값(표 1, 2)으로 나타나기 때문에 획일적인 기준점 추가 방식은 찾을 수가 없었으며 오직 전 지역에 대해 기준점의 밀도를 증가시키는 방법만이 유일 할 것으로 생각되었다.

2) Kriging 방법

이 보간 방법에서는 정확도 향상에 대해 두 가지 측면을 고려해야 할 것으로 나타났다.

1. 동일 등고선 간격이 좁아 그 지점의 고도정보가 grid D.E.M에 반영이 되지 않아 등고선이 분리되면서 생기는 island의 제거.

이 문제는 격자 간격을 적게 하면 해결 할 수가 있으나 또 다른 지역에 island를 형성시키는 결과를 초래할 수 있으므로 격자점의 생성된 고도에 대한 오차를 분석하여 허용오차 이내일 때는 허용하는 것이 더 타당한 방법으로 생각된다.

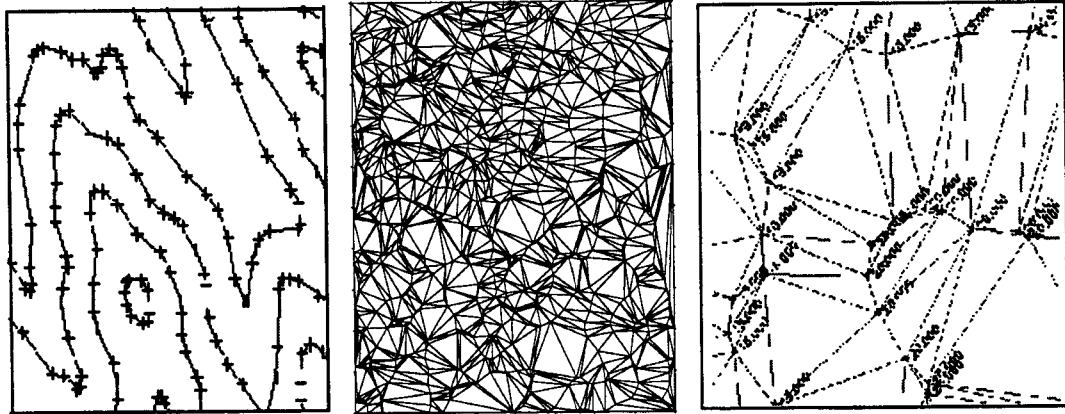
2. 지역 경사가 너무 완만하여 등고선 평면 간격이 너무 커서 그 중간에 생기는 island의 제거.

이 문제는 그 지역에 기준점을 추가하여 제거할 수가 있다. 기준점 추가 형식은 Break-Line과 같이 선형적으로 추가하는 방식은 타당치 않으며, 산발적인 추가 방식이 매우 효과적인 것으로 생각된다.

3) TIN 방법

이 보간 방법의 근본적인 문제는 수치지도의 고도정보가 앞에서 논한바와 같이 하나의 등고선을 개체로 묶는 연속추출형식의 연속적 고도정보(그림 12(a))라는데 근본적인 원인이 있다. 이러한 고도정보는 최단거리의 이웃점을 서로 연결하는 TIN의 알고리즘에 따라서 이상적인 삼각망을 구성하지 못하고 그림 12(c)와 같이 동일 고도기준점을 서로 연결하는 삼각망을 구성하기 때문에 등고선의 추적하는데 있어서 컴퓨터 프로그램에 문제점을 발생시키기 때문이다. 그림 12(d), (e)는 삼각망(TIN)으로부터 직접 등고선을 추적하여 등고선을 작도 한 결과로써 등고선이 중첩된다거나 교차되는 많은 문제점을 시각적으로 보여주고 있다. 이러한 문제를 내포한 TIN으로부터 생성된 grid DEM은 당연히 이러한 문제점의 영향을 받고 있기 때문에 정확성이 떨어져 재현된 등고선의 형상에 많은 차이를 가져온 것이다.

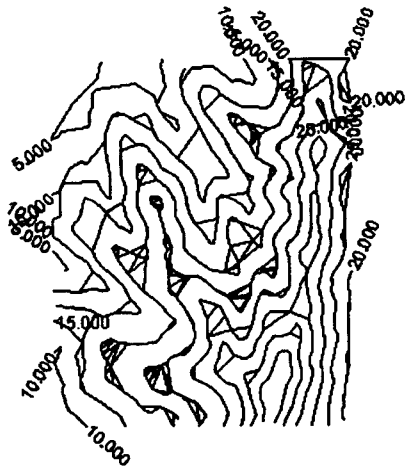
이 문제점의 해결하기 위해서는 두가지 측면에서 고려



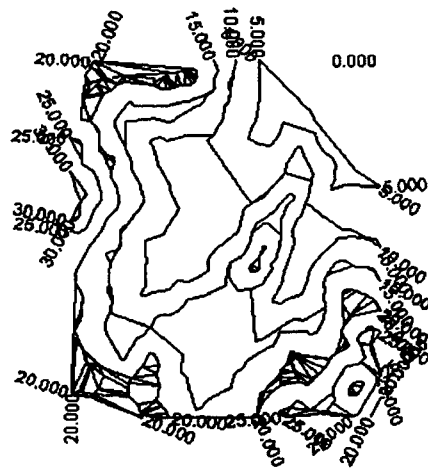
(a) 선형 data 구조

(b) TIN

(c) TIN의 부분 확대



(d) SAMPLE-1



(e) SAMPLE-2

그림 12. TIN으로부터 등고선의 생성

되어야 할 것이다.

1. 능선과 계곡선을 따라서 거의 발생되고 있는 동일 고도기준점들의 삼각망 구성의 저지.

이 문제점은 능선이나 계곡선을 가로 지르는 Break-Line 형태의 기준점을 추가 삽입하므로써 동일 고도기준점들의 삼각망 구성을 저지할 수 있으므로 가장 좋은 해결 방법이 될 것이다. 이렇게 하므로써 위 분석 결과에서 설명한 바와 같이 능선과 계곡선을 따라서 선형적으로 발생 되는 큰 고도오차 또한 당연히 감소될 것이므로 정확성이 향상될 것이다.

본 연구에서는 Break-Line을 삽입한 후의 정확성 향상에 대해서 SAMPLE-1,2지역에 대한 시각적 분석과 수치적 분석을 행하였다(그림 13, 14 표 1,2).

2. 경계치 문제의 해결

이 문제는 대상 지역 경계에 좀 더 조밀하게 기준점을 추가해 주는 방법이 최선의 방법이다. 추가 요령은 지형의 특성 따라서 행해지므로 실무적인 경험이 요구된다.

3.4 수치적 실험 통계 결과

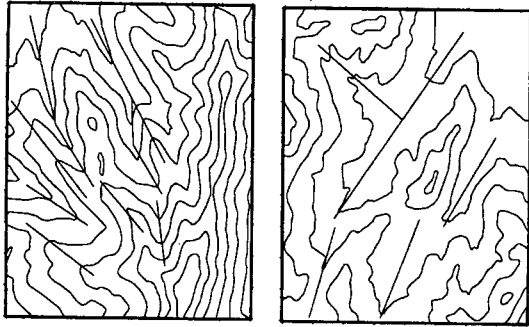
수치적 실험 통계 방식은 SAMPLE-1,2 전 지역의 격자점 각 2,091점을 대상으로 계산하였으며, 허용고도오차의 한계는 등고선 간격의 1/4(1.25 m)로 계산하였다.

표 1은 격자점의 추정 고도에 따른 고도오차를 허용 오차 이내와 허용오차 이상은 고도차 1.25 m 간격으로 분류하였고 전체 2,091점의 격자점에 대한 백분율로 계

산된 결과이다.

표 2는 허용고도오차 이상으로 추정된 격자점의 총

수와 최대오차 및 평균오차를 계산한 결과이며, 그 중 최대고도오차와 평균오차(RMSE)는 시각적 효과를 얻기 위하여 그래프를 이용 그림 15, 16로 도면화 하였다.



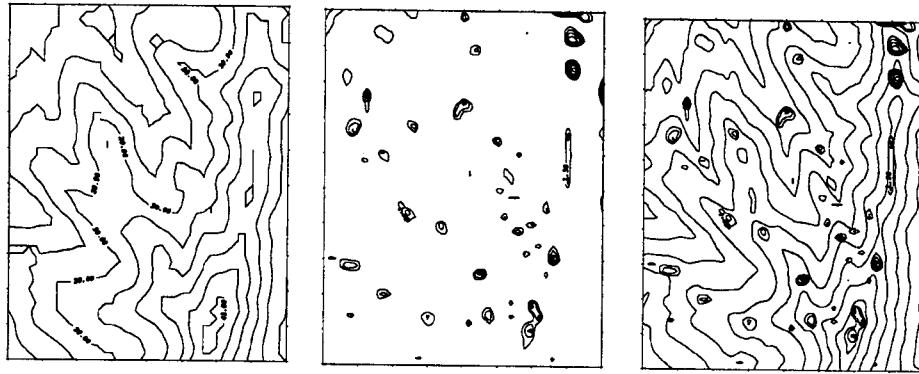
SAMPLE-1(원도) SAMPLE-2(원도)

그림 13. Break-Line을 첨가한 원도면

4. 결 론

수치지도를 이용한 수치고도모델 생성에 대하여 산악지 및 완만한 경사지를 대상으로 수치시험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 보간방법들의 적용 따른 허용고도오차를 벗어나는 비율을 고려 할때 완만한 경사지역이 산악지역에 비해 역거리 방법 1.55배, Kriging은 1.68배, TIN은 1.27배 더 많았다. 이러한 결과는 대상 지형의 종류에 따라

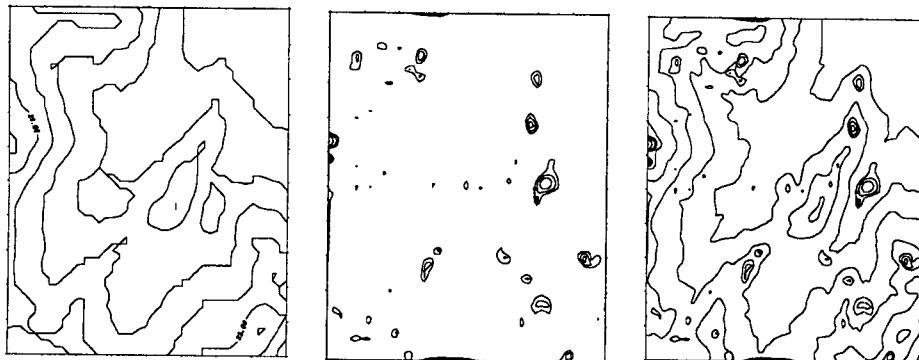


(a) 10m 격자간격

(b) 고도오차의 분포

(c) 고도 오차의 분포와 원도의 중첩

SAMPLE-1



(a) 10m 격자간격

(b) 고도오차의 분포

(c) 고도 오차의 분포와 원도의 중첩

SAMPLE-2

그림 14. Break-Line 첨가 후 TIN으로부터 생성된 grid D.E.M 등고선, 고도오차 및 분포지역

표 1. 고도오차 크기별 분류

(격자점 수, 백분율)

보간방법	고도오차	허용오차	1.25 m	2.50 m	3.75 m	5.00 m 이상
		1.25 m 이하	- 2.50 m	-3.75 m	-5.00 m	
SAMPLE - 1	역거리방법	1,723 점 (82.400%)	321 점 (15.352%)	41 점 (1.961%)	6 점 (0.287%)	0 점 (0%)
	Kriging	1,995 점 (95.409%)	95 점 (4.543%)	1 점 (0.048%)	0 점 (0%)	0 점 (0%)
	TIN	1,861 점 (89.000%)	201 점 (9.613%)	24 점 (1.148%)	5 점 (0.239%)	0 점 (0%)
	TIN (B-L 첨가)	1,895 점 (90.626%)	173 점 (8.273%)	18 점 (0.861%)	5 점 (0.239%)	0 점 (0%)
SAMPLE - 2	역거리방법	1,521 점 (72.740%)	421 점 (20.134%)	122 점 (5.835%)	26 점 (1.243%)	1 점 (0.048%)
	Kriging	1,929 점 (92.253%)	159 점 (7.604%)	3 점 (0.143%)	0 점 (0%)	0 점 (0%)
	TIN	1,798 점 (85.988%)	253 점 (12.099%)	39 점 (1.865%)	1 점 (0.048%)	0 점 (0%)
	TIN (B-L 첨가)	1,917 점 (91.678%)	159 점 (7.604%)	14 점 (0.670%)	1 점 (0.048%)	0 점 (0%)

표 2. 최대고도오차 및 표준오차(RMSE)

보간 방법	분석내용	고도오차가	최대고도	RMSE
		허용오차(1.25 m) 이상인 격자점 수/백분율		
SAMPLE - 1	역거리방법	368점/17.599%	4.55	0.647
	Kriging	96점/4.591%	2.518	0.397
	TIN	230점/11.000%	4.0	0.604
	TIN Break Line 첨가	196점/9.373%	4.0	0.564
SAMPLE - 2	역거리방법	570점/27.260%	5.419	0.874
	Kriging	162점/7.748%	3.661	0.461
	TIN	293점/14.012%	4.299	0.638
	TIN Break Line 첨가	174점/8.322%	4.299	0.4299

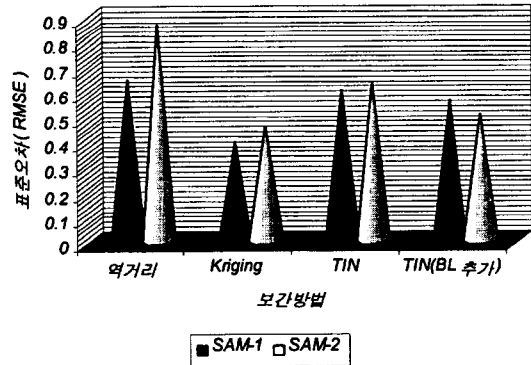


그림 16. 보간방법에 따른 표준오차(m)

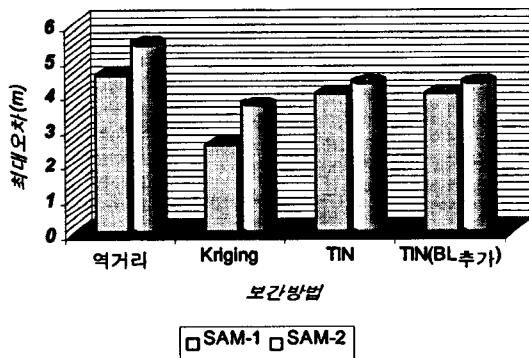


그림 15. 보간방법에 따른 최대고도오차(m)

생성된 grid DEM의 정확성이 달라진다는 것을 알 수 있었다. TIN은 지형의 영향을 적게 받으나 추계학적 방법인 Kriging은 지형의 영향을 많이 받는다는 결과를 알 수 있었다.

2) 완만한 경사지역은 많은 고도오차를 유발시키는 하나 오차의 원인이 등고선의 수평간격 때문이라는 사실을 알 수 있었기 때문에 정확성의 향상을 위한 기준점 추가를 쉽게 할 수 있었다. 연구대상으로 선정한 TIN보간 방법의 경우 Break-Line을 첨가한 후 완만한 경사지역에서는 허용오차를 벗어나는 비율을 30~40% 이상 낮출 수 있었으며 산악지역에서는 약 10~20% 정도 낮출 수가 있었다. 이러한 결과로부터 산악지역의

정확도 향상에는 보다 더 많은 Break-Line의 첨가가 요구되므로 작업시간이 더 소요되어진다는 것도 알 수 있었다.

3) 역거리 보간방법은 정확성 및 등고선의 재현 능력이 현저하게 떨어져 수치고도모델의 생성에 적합한 보간 방법이 아님이 증명되었으며, TIN방식은 정확성을 높이기 위해 많은 Break-Line의 첨가가 필수적이므로 이에 따른 작업시간이 많이 소요된다는 것과 Kriging방법에 비하여 정확성 및 복잡한 등고선의 재현 능력이 떨어진다는 것을 알 수 있었다.

4) 추계학적 보간 방법인 Kriging은 다른 보간 방법에 비해 정확도가 월등하고 또한 복잡한 등고선의 재현도 매우 효율적이었다. 단 완만한 경사지 등고선 평면간격이 넓은 지역에서는 보간에 사용되는 기준점 수의 부족에 따라 island가 발생할 수 있으므로 그러한 지역은 기준점의 추가가 요구되었다. 기준점 추가방법은 산발적 추가방법이 효과적일 것으로 생각된다.

5) 정규격자 수치고도모델(grid D.E.M)의 생성에 따른 격자간격은 생성할 등고선 간격의 2배가 가장 이상적이며 효율적으로 생각된다.

6) 생성된 grid D.E.M의 정확도 평가 방법 중, 재현된 등고선의 시각적 분석과 아울러 추정 격자점의 고도 오차를 계산한 후, 허용 고도오차(등고선 간격의 1/2)이내의 백분율을 이용한 정확성 분석 방법도 매우 타당

성이 있다고 생각되며, 이에 따른 지속적인 연구가 요구되어진다.

참고문헌

1. 조규전 외 3인, "비정규삼각망 데이터구조에 의한 수치지형모델의 구성", 한국측지학회지, 1990.12.30, pp.1-8.
2. 최병길, "지형정보시스템의 수치표고모델 구축에 관한 연구", 한양대학교 박사학위 논문, 1991.
3. Davis J.C., "Statistics and Data analysis in Geology", John Wiley & Sons, Inc., 1986.
4. Watson D.F., "Contouring", Elsevier Science Inc., 1992.
5. Braker F., "Generation of Regular Point Grids", I.T.C. Dgree Paper, 1972.
6. Journel A.G. & Huijbregts CH.J. "Mining Geostatistics", Academic Press INC., 1981.
7. Olliver J.C. & Clendinning J., "Principles of Surveying", Adlard & Son Ltd., 1978.
8. M.D. Morris, P.E., "Errors in Practical Measurement in Science, Engineering, and Technology", John Wiley & Sons, Inc., 1978.
9. Victor J.D. Tsai, "Delaunay triangulations in TIN creation: an overview and a linear-time algorithm", INT.J. Geographical Information Systems, 7(6), 501-524, 1993.
10. Marc Van Kreveld, "Efficient method for isoline extraction from a TIN", INT.J. Geographical Information Systems, 10(5), 523-540, 1996.