

수치표고모델의 보간기준점 선정에 관한 연구

Reference Points Selection for Interpolation in Digital Elevation Model

최병길¹⁾ · 김옥남²⁾ · 진세일³⁾

Choi, Byoung Gil · Kim, Uk Nam · Jin, Sea Il

Abstract

The method that selects reference points for interpolation is very important in Digital Elevation Model. However, there is no definition of an accurate standard until now, so users select the reference points for interpolation at their option. This paper aims to study on the accurate selection of the reference points for interpolation of DEM. This paper analyzed the method using the number of points and the reference points selection method by using the average distance calculated, from irregular points. Based on the analysis of the results, it shows that the Kriging method applying of the average distance is more efficient in construction of DEM.

요 지

지형의 기복변화를 수치적으로 표현하는 수치표고모델에서 보간 기준점의 선정방법은 매우 중요하다. 하지만 아직까지 정확한 기준이 정해진 것 없이 사용자가 임의로 선정하여 보간을 수행하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 수치표고모델을 보다 정확하고 효과적으로 구축하기 위한 보간 기준점 선정방법을 연구하였다. 점의 수를 적용한 선정 방법과 비정규적으로 분포되어 있는 점들을 정규 격자형태로 가정하고 구한 점들간의 평균거리를 적용한 기준점 선정 방법이 분석되었다. 그 결과 점들간 평균거리를 적용한 크리깅 방법이 수치표고모델을 구축하는데 보다 효과적인 방법임을 알 수 있었다.

핵심용어(Keywords) : 수치표고모델(Digital Elevation Model), 보간기준점 선정(Reference Points Selection for Interpolation)

1. 서 론

지형을 모형화 한다는 것은 지표면과 그 표고특성을 정확히 수치적으로 표현하는 것이다. 공간상의 연속적인 기복변화를 수치적으로 표현하는 수치표고모델(Digital Elevation Model : DEM)에서 보간에 필요한 기준점을 어떤 방법에 의하여 선정하는지는 매우 중요하다. 보간에 의하여 구축된 수치표고모델의 정확도는 표본 추출된 기준점의 정확도, 보간 알고리즘, 기준점의 선정방법에 영향을 받는다고 할 수 있다. 이중 기준점들의 정확도는 데이터를 획득할 때 사용되어지는 측량장비들에 의하여 사전에 정하여 진다고 할 수 있으며 보간 알고리즘 또한 많은 연구가 진행되어 각각의 방법에 대한 장단점이 알려졌으나 기준점 선정의

경우 정확한 기준이 없어 각종 소프트웨어 등에서 사용자가 임의로 선정하여 보간을 수행하고 있는 실정이다. 본 연구는 수치표고모델을 보다 효과적이고 정확하게 구축하기 위한 보간 기준점 선정 방법을 연구하는데 그 목적이 있다.

본 연구에서는 점의 수를 적용한 방법과 비정규적으로 분포되어 있는 점들을 정규 격자형태로 가정하여 구한 점들간의 평균거리를 적용한 방법을 분석하였다. 보간에 의하여 구축된 수치표고모델의 정확도는 항공사진측량에 의하여 구축된 수치표고모델과의 비교에 의하여 분석하였다.

2. 기본 이론

보간이란 기준공간이라 불리는 n 차원 공간상의 점 P 에

1) 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수(E-mail: bgchoi@incheon.ac.kr)

2) 정회원 · 신구대학 지적정보과 교수(E-mail: kun@ns.shingu_c.ac.kr)

3) 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정(E-mail: civil320@lycos.co.kr)

서 차원 m 의 벡터(이를 기준벡터라 함)가 정의되어질 때 기지의 점 P_i 에서의 벡터값을 이용하여 미지의 점 P_k 에서의 벡터값을 구하는 것이라 정의할 수 있다.(Bräaker, 1975 ; Davis, 1975)

DEM에 있어서 기준공간의 차원 n 은 2차 즉, x, y 좌표계이며 기준벡터의 차원 m 은 1차 즉 표고 Z 가 될 것이다. 따라서 보간 문제를 생각할 때는 주어진 DEM의 제조조건에 대하여 가장 적합한 보간 처리방법은 어떤 것인가, 그들의 정확성은 어떠한가, 그들의 효율성은 어떠한가가 연구, 조사되어야 할 것이다.

2.1 보간방법

하나의 보간이 완성되기 위해서는 수학모형의 설정과 이의 보간처리 두 과정을 필요로 한다. 흔히 보간 방법이라고 말하는 것은 수학모형의 형태를 말하는 것으로서 이는 함수모형과 확률모형 및 기준점 선정을 위한 기준의 분야로 다시 나눌 수 있다. 컴퓨터 프로그램에 의하여 이루어지는 보간처리는 선정된 수학모형을 가장 효율적인 방법으로 실현시키기 위한 과정이다.

함수모형이 임의의 점의 지형의 표고값을 예측하기 위하여 세워진 모형이라 한다면 확률모형은 이들의 확률분포를 결정하기 위하여 세워진 모형으로 생각할 수 있다. DEM에서 표본추출된 기준자료(reference data)는 통계학적 특성을 가지는 관찰치(확률변수)이기 때문에 승여자료(redundant data)를 사용하였을 경우 모든 함수모형에 대한 확률모형을 필요로 한다. 확률변수의 통계학적 특성은 확률분포함수에 의하여 충분히 알 수 있지만 DEM의 경우 일반적으로 확률분포함수가 알려져 있지 않다. 그러나 통계학적 특성은 어떤 단순한 성질을 바탕으로 하여 예측되어 질 수 있다. 즉, 계수함수모형에 있어서 기준점의 분산은 일반적으로 동일하다고 가정되어지며 기준점 사이의 상관관계는 사전가중 함수(apriori weight function)에 의하여 결정된다. 비계수함수모형의 경우 공분산함수의 개념이 이용된다. (Loss, 1980)

보간된 점의 정확도는 획득된 원시데이터의 정확도와 보간 알고리즘 그리고 기준점 선정방법에 의하여 영향을 받는다고 할 수 있다. 이중 원시데이터 즉, 기준점의 정확도는 제일 큰 영향을 미치는 요인이나 측량장비의 정확도 등에 의하여 사전에 어느 정도 정하여 진다고 볼 수 있으며 보간 알고리즘의 경우 여러 연구 및 실험에 의하여 그 특징이 알려져 있다. 그러나 보간에 필요한 기준점 선정의 경우 정확한 기준이 없어 각종 소프트웨어 등에서 사용자가 임의로 선정하여 보간을 수행하고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서 보간 선정

방법에 관하여 관심을 가지고 연구를 수행하였다.

2.2 보간기준점 선정방법

함수모형과 통계학적 모형에 이용되는 자료를 적절하게 제공해주기 위해서는 보간기준점 선정이 중요하다. 이러한 기준점 선정방법에 대해 살펴보면 다음과 같다.

패치선정방법은 어떤 구역안에 있는 점을 모두 보간에 이용하는 방법이다. 거리에 의한 선정방법은 매우 직접적인 방법으로 보간점을 중심으로 가장 거리가 가까운 점들을 선택하는 방법이다. 거리와 분할면에 의한 기준점 선정 방법은 전 구역이 몇 개의 동일한 구역으로 분할된 다음 각각의 구역내에서 가장 가까운 점들이 선택되어지는 방법이다. 추적선에 의한 선정방법 입력자료가 종단곡선, 등고선, 단선등과 같은 선상에 배열되었을 경우 채택되는 방법으로 전 구역이 동일한 크기의 단면으로 추적선에 의하여 분할된 다음 각각의 추적선과 입력자료선(data string)과의 교점이 계산되어진다. 이때 분할되어지는 점의 높이는 같은 선상의 가장 가까운 두 점을 이용하여 보간 되어진다. 최단횡선에 의한 선정방법은 추적선에 의한 방법과 같이 기준점들이 선상에 배열되었을 경우 채택되는 방법으로 하나의 직선을 한점(추적의 중심)을 중심으로하여 최단 횡선이 될 때까지 회전시키는 방법이다.

보간기준점은 일반적으로 보간점으로부터 가까운 점들이 선정되는데 크게 두 가지 방식으로 이루어진다. 첫 번째 방법은 일정한 점의 수를 정한 다음 보간점으로부터 가까운 점부터 미리 정한 점의 수까지 계속하여 추적하는 방식이다. 두 번째 방법은 보간점으로부터 일정한 거리를 정한 다음 이 거리에 있는 점들을 보간기준점으로 선정하는 방식이다. 그러나 두 가지 경우 모두 그 기준을 얼마로 하는 것이 효과적인지에 대하여 명확하게 정하여 진 것이 없다. 즉, 표본 추출된 기준점의 간격이 다양하기 때문에 기준점의 수나 보간점으로부터 얼마의 거리 내에 있는 점들이 적합한지 판단한다는 것은 실제로 매우 어렵다고 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 불규칙하게 분포되어 있는 점들의 평균거리를 구하여 이를 지표로 기준점을 선정하는 방법을 제시하고 분석한다.

2.3 보간 알고리즘

보간 알고리즘으로는 크리깅 보간방법, 역거리 가중 보간방법, 비정규 삼각망 보간방법등 다양한 방법이 있으나 본 연구에서는 이론적으로 가장 정밀한 크리깅 보간이론을 적용하여 기준점 선정방법을 분석하였다.

크리깅 보간방법은 주변의 관측 값을 이용하여 보간점

의 값을 추정하는 방법으로 통계학적인 의미의 거리로부터 유도된 반 분산(semi-variance)을 계산하여 점 관측자료들의 공간적 구조와 상호 관련성을 검증하고, 적절한 수학적 함수모형을 선택하여 주변 값을 결정하는 최적화기법을 적용하기 때문에 이 보간방법을 최적의 선형기법이라 한다.(정성호, 1985 ; Dozier et al., 1987)

거리뿐만 아니라 방향의 의미를 갖는 벡터값 반 분산은 표준편차의 1/2로 정의된다.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \frac{\sum [Z(X_i) - Z(X_i+h)]^2}{N}$$

여기서, $\gamma(h)$: 반 분산값

$Z(X_i)$: X_i 지점에서의 관측값

$Z(X_i+h)$: X_i 지점에서 거리 h만큼 떨어진 지점에서의 관측값

N : 거리 h에 의해 나누어진 관측값들 쌍의 개수

반 분산을 구한 후 보간점에 대한 경중률(λ_i)를 산정하고 다음과 같은 식을 이용하여 보간점을 추정한다.

$$Z(x_j) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i)$$

여기서, λ_i : i 지점의 가중치

x_i : 추정지점

x_j : 실측지점

Z : 고도

비정규적으로 분포되어 있는 점들의 위치를 삼각형의 형태로 연결하여 전체 지형을 표현하는 방식인 비정규 삼각망은 정규 격자망 형태의 데이터 구조와는 달리 불규칙한 상태이므로 상호 점들간 인식에 어려움이 있으므로 데이터의 구축은 그리 쉽지 않다. 그러나 격자방식과 비교하여 비교적 적은 지점에서 추출된 표고데이터를 사용하여 개략적으로나마 전반적인 지형의 형태를 나타낼 수 있다는 장점이 있고 지형의 특성이나 대상 지형의 경계선에 관계없이 표면을 묘사할 수 있어 불규칙한 경계선을 가진 수치표고모델의 생성에 적합한 묘사 방법이라 할 수 있다.

불규칙 데이터로부터 비정규 삼각망이 구성되면 정규 격자점의 고도는 그 격자점이 속해 있는 삼각형의 세 꼭지점으로부터 보간 되어 질 수 있다.

$$Z_i = \sum_{j=1}^3 \omega_j \cdot Z_j$$

여기서, ω_j : j 지점의 가중치

Z_j : j 지점의 고도

3. 시험 및 결과 분석

3.1 수치시험

본 연구에서 대상지역은 축척 1:5,000 도엽 중 경북 영주

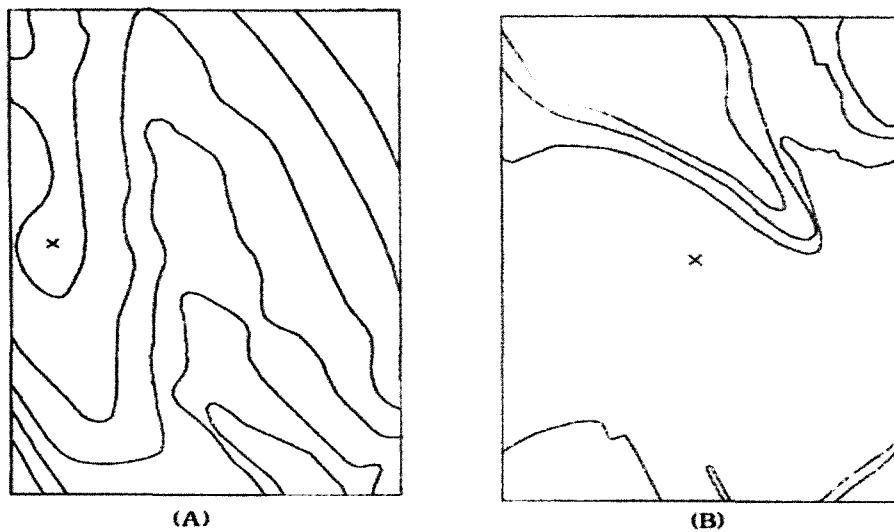


그림 1. 수치시험 대상지역

지역중 경사면이 있는 지역(A지형 120×300m)과 비교적 평탄한 지역(B지형 200×300m)을 선택하고 등고선으로부터 비정규데이터를 추출하였으며 기준표고는 항공사진 측량에 의해 구축된 정규격자망(5m×5m)을 이용하였다(그림 1). 수치표고모델의 정확도를 비교·분석하기 위해 보간에 의해 얻어진 값과 항공사진측량에 의해서 얻어진 값(진값)의 차이의 표준편차(RMSE : Root Mean Square Error)를 구하였다.

비정규적으로 분포되어있는 점들간의 평균 거리는 다음과 같이 구하였다.

$$\left(\frac{A}{d} + 1\right)\left(\frac{B}{d} + 1\right) = C$$

여기서, d : 점들 간의 평균거리

A, B: 대상지역의 가로 세로 거리

C : 대상지역 안의 점의 총수

3.2 결과 및 분석

3.2.1 점의 수에 의한 기준점 선정의 정확도

크리깅 보간방법을 이용하여 보간점 주위의 가장 가까운 점의 수를 4점, 8점, 12점, 16점, 20점 등 4의 배수로 분석한 결과 A지형인 경우 44점에서, B지형인 경우 40점에서 정확도가 좋으며 일정한 값으로 수렴하나 점의 수가

표 1. 점의 수에 의한 기준점 선정의 정확도 (단위 : m)

지 형		A지형 (RMSE)		B지형 (RMSE)	
점의 수					
4점	36점	1.932	1.644	1.846	1.435
8점	40점	1.758	1.640	1.744	1.428
12점	44점	1.710	1.635	1.707	1.430
16점	48점	1.697	1.635	1.678	1.492
20점	52점	1.678	1.638	1.607	1.522
24점	56점	1.668	1.639	1.515	1.566
28점	60점	1.660	1.639	1.488	1.592
32점	64점	1.652	1.639	1.456	1.624

많을 경우 오히려 정확도가 낮아짐을 보여 주었다(표 1, 그림 2 참조).

3.2.2 평균거리에 의한 기준점 선정의 정확도

보간점 주위의 거리에 변화를 주어 적용한 정확도의 값과 점의 수에 의한 정확도의 값을 비교 분석하였다. 점의 수에 의한 정확도는 가장 높은 정확도를 보여주는 A지형의 경우 44점을, B지형의 경우 40점을 기준으로 하였으며 거리는 점들간의 평균거리를 지표로 하였다.

그 결과 B지형인 경우 평균거리의 2배 이하로 적용된 경우 점의 수가 부족하여 보간을 정상적으로 수행할 수 없

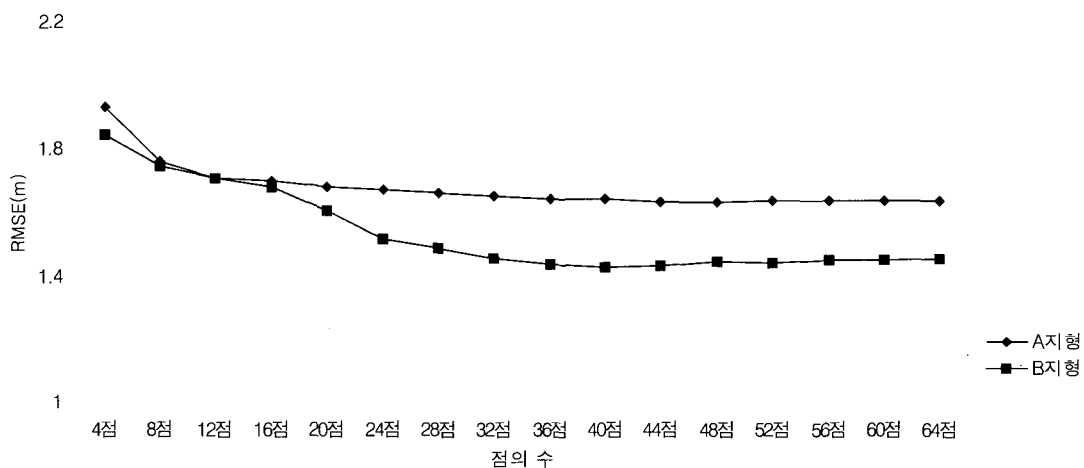
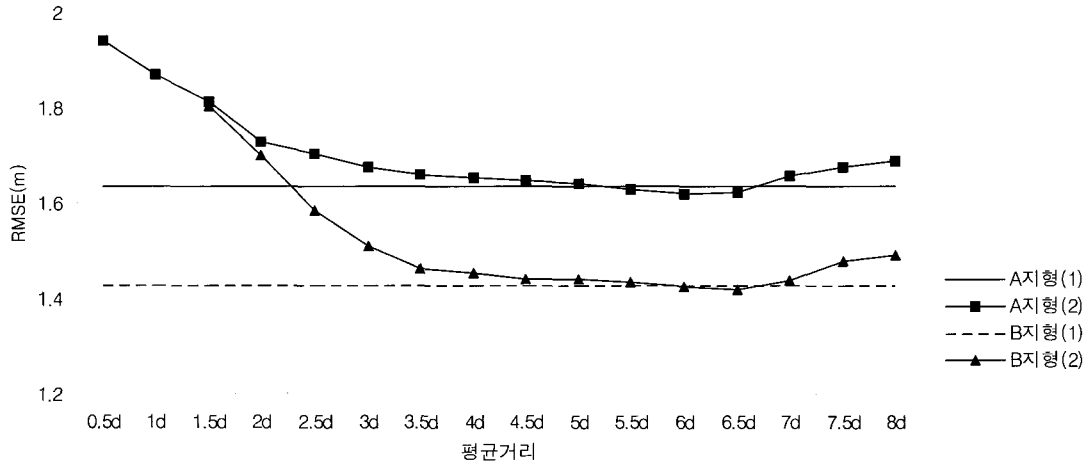


그림 2. 점의 수에 의한 기준점 선정의 정확도



주) (1) : 점의 수에 의한 정확도
 (2) : 평균거리에 의한 정확도

그림 3. 평균거리에 의한 기준점 선정의 정확도

표 2. 평균거리에 의한 기준점 선정의 정확도 (단위 : m)

지 형		A지형(RMSE)		B지형(RMSE)	
점의 수에 의한 정확도		1.635		1.428	
평균거리에 의한 정확도 (d : 평균거리)	0.5d 4.5d	1.942	1.648	-	1.441
	1d 5d	1.870	1.641	-	1.440
	1.5d 5.5d	1.811	1.628	1.804	1.434
	2d 6d	1.728	1.618	1.711	1.425
	2.5d 6.5d	1.704	1.623	1.584	1.419
	3d 7d	1.676	1.656	1.510	1.436
	3.5d 7.5d	1.659	1.674	1.463	1.477
	4d 8d	1.653	1.688	1.454	1.490

었으며, 약 6~7배 정도에서 효과적인 수치표고모델을 구축할 수 있었다(표 2, 그림 3 참조).

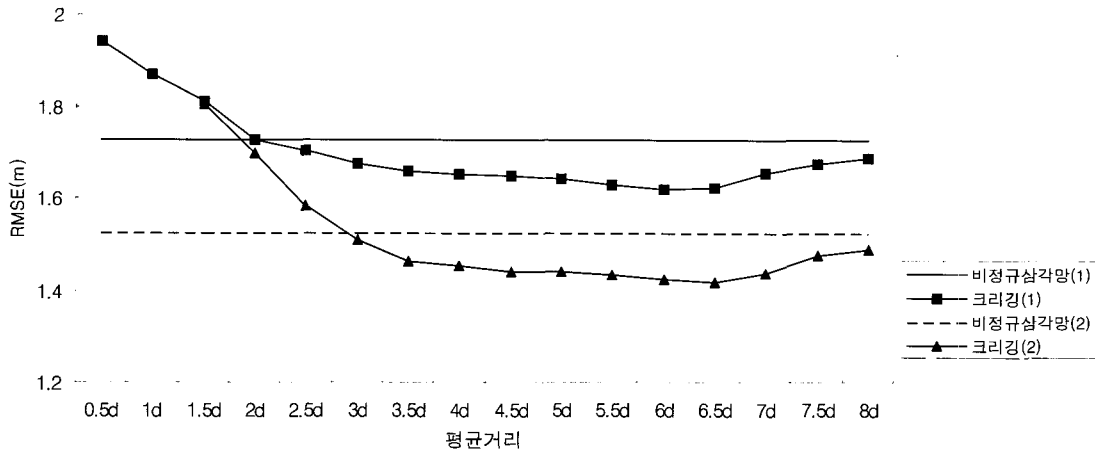
3.2.3 보간알고리즘 따른 정확도 분석

비정규삼각망에 의한 보간 방법과 기준점 선정 후 크리깅 알고리즘에 의한 보간방법의 정확도를 비교 분석하였다. 그 결과 표 3 및 그림 4에서와 같이 평균거리 약 2배

이상부터, 크리깅 보간 방법이 비정규 삼각망 보간 방법 보다 높은 정확도를 보여주고 있다. 즉, 비정규적으로 분포되어 있는 점들의 평균거리를 구하여 이를 지표로 기준점을 선정한 다음 크리깅 알고리즘에 의한 보간 방법이 수치표고모델을 구축하는데 효율적인 방법임을 알 수 있었다.

표 3. 보간방법에 따른 정확도 (단위 : m)

지형		A지형(RMSE)		B지형(RMSE)	
보간방법		1.726		1.524	
비정규 삼각망 보간방법		1.726		1.524	
크리깅 보간방법 (d : 평균거리)	0.5d 4.5d	1.942	1.648	-	1.441
	1d 5d	1.870	1.641	-	1.440
	1.5d 5.5d	1.811	1.628	1.804	1.434
	2d 6d	1.728	1.618	1.711	1.425
	2.5d 6.5d	1.704	1.623	1.584	1.419
	3d 7d	1.676	1.656	1.510	1.436
	3.5d 7.5d	1.659	1.674	1.463	1.477
	4d 8d	1.653	1.688	1.454	1.490



주) (1) : A지형 (2) B지형

그림 4. 보간방법에 따른 정확도

4. 결 론

본 연구는 수치표고모델을 보다 효과적으로 구축하기 위한 보간 기준점 선정에 관하여 수치 시험한 연구로서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

기존의 보간 기준점은 임의로 정한 점의 수나 거리에 의하여 보간점으로 부터 가까운 점들이 선정되어 그 기준의 객관성이 결여되었으나 점들간의 평균거리를 구하고 이를 지표로 삼을 경우 보다 합리적으로 기준점을 선정할 수 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서 보간점을 중심으로 거리에 변화를 주어 수치시험한 결과 보간점으로 부터 점들간 평균거리의 약 6~7배 내에 존재하는 점들을 기준점으로 선정한 방법이 다른 선정방법에 비해 정확함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 단지 두 개의 지형만을 대상으로 한 연구로써 앞으로 좀더 많은 지형을 대상으로 정확한 연구를 수행할 필요가 있으나, 정확한 기준 없이 임의로 보간의 기준점을 선정하여 보간을 수행하는 기존의 방법에 비해 점들간의 평균거리 등을 적용할 경우 보다 정확하고 통일성 있는 기준점 선정 방법이 될 수 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2001년도 인천대학교 자체연구비 지원사업 (2001-05-01)에 의해 수행되었음.

참고문헌

국립지리원 (1999), 국가고도자료 구축연구 (II), 건설교통부.
 정성호 (1985), 등고선을 이용한 표본추출법에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 6, p. 67.
 조규전 외 2인 (1998), 정규격자 수치고도모델의 생성과 정확도 분석에 관한 연구, 한국측지학회지, pp. 119-132.
 최병길 (1991), 지형정보시스템의 수치표고모델구축에 관한 연구, 한양대학교 박사학위논문.
 Bräker (1975), *Generation of Regular Point Grids from Contour Lines for Digital Terrain Model*, ITC-M.S. Thesis.
 Davis, P.J. (1975), *Interpolation and Approximation*, Dover, Pub.
 Dozier, J. and Marks, D. (1987), Snow Mapping and Classification from Landsat Thematic Mapper Data, *Annals of Glaciology*, 9, pp. 97-103.
 Graff, L.H. and Usery, E.L. (1993), Automated Classification of Generic Terrain Features in Digital Elevation Model. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 59.
 Li, Z. (1993), Mathematical Models of Accuracy of Digital Terrain Model Surfaces Linearly Constructed from Least Square Gridded Data. *Photogrammetric Record*, Vol. 14.
 Loss, S.M. (1980), *Stochastic Processes*, John Wiley & Sons.
 Peucker, T.K., and Chrisman, N. (1975), Cartographic Data Structures, *The American Cartographer*, Vol. 2, No. 1, pp. 55-69.
 Robinson, G.J. (1994), The Accuracy of Digital Elevation Models Derived from Contour Data, *Photogrammetric Record*, Vol. 14.

(2003년 4월 12일 원고접수)