

보간 방법에 따른 DEM 정확도 분석 Accuracy Analysis of DEM by the Interpolation Methods

강준묵¹⁾ · 윤희천²⁾ · 최선용³⁾

Kang, Joon Mook · Yoon, Hee Cheon · Choi, Sun Yong

¹⁾ 충남대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail: jmkang@cnu.ac.kr)

²⁾ 충남대학교 공과대학 토목공학과 부교수(E-mail: hcyoon@cnu.ac.kr)

³⁾ 충남대학교 대학원 토목공학과 박사과정(E-mail: csydbl@hanmail.net)

Abstract

It is known that the accuracy of DEM is related with terrain morphology, sampling density, and interpolation method. However, the theoretical reasons for these correlations have rarely been accounted for so far. This study aimed to verify a theoretical basis that DEM accuracy can be assessed based on approximation theory when we generate a DEM using lots of precise and accurate source data such as digital maps and LIDAR data.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

지형을 격자형태로 수치화하여 GIS(Geographic Information System)의 다양한 분야에서 활용되고 있는 DEM의 정확도는 오차 전파이론을 근거로 RMSE(Root Mean Square Error)와 오차 분산을 이용하여 표현하고 있다. DEM과 같은 수치지도의 정확도 평가는 매우 정확한 원천자료를 이용하며 점대점을 직접 비교하거나 기존의 수치지도를 이용하여 제작한 DEM과의 전체를 비교하는 방법을 사용하며, 직접 평가하기 곤란할 경우 오차 전파이론을 이용하여 추정하기도 한다(국토지리정보원, 1998).

일반적으로 DEM의 정확도는 시험적인 평가를 통해 지형형태, 샘플링 밀도, 보간방법등과 관련이 있는 것으로 알려져 있으나, 이러한 연관성에 대한 이론적 근거에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 기존의 많은 연구에서는 제작한 DEM을 기준자료와 비교하는 시험적 방법으로 정확도를 평가하고 분석하여 DEM의 정확도가 지형형태 및 샘플링 밀도, 보간방법 등과 관련이 있음을 확인하였으며, 이에 따라 이를 극복하기 위해 많은 노력을 기울여 왔다. 이근상 등은 골짜기, 정상, 능선등 지형에 대해 셀크기에 따라 DEM의 정확도가 달라지는 것을 확인하고, 지형별 해상도에 따른 회기식을 제시하였으며(2002), 이동천 등은 지형의 특성에 따라 DEM 생성을 위한 보간 방법 및 해상도를 달리 하는 것을 제안하여 저장공간의 효율적 사용과 정확도의 향상을 확인하였다(2009). 신규 제작된 DEM에 대해 기존에 제작된 DEM을 기준자료로 이용하여 정확도를 평가할 경우 타원체 및 좌표체계의 차이로 인한 격자점의 수평위치를 일치시키기 위해 정재훈 등은 평가대상 격자점에 해당하는 좌표를 보간하여 평가하였다(2008).

본 연구에서는 근사이론을 적용하여 원천자료의 보간방법이 DEM 정확도에 미치는 영향을 이론적으로 분석한(Peng, 2009) 연구 결과를 확인하고, 지형형태 및 해상도와 DEM 정확도에 대한 이론적 관계와 기존의 시험적으로 분석한 연구결과를 비교검토 하고자 한다.

1.2 연구방법 및 범위

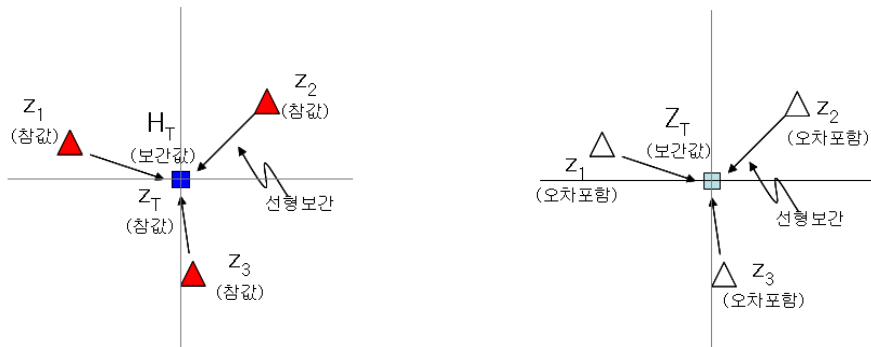
본 연구에서는 DEM에 포함된 오차를 원천자료가 갖는 우연오차, 원천자료로부터의 보간오차와 전파오차로 구분하였다. 연구에 고려한 보간방법은 많은 위치정보를 제공하는 LIDAR 자료 또는 지형도의 등고선, 점표고등을 이용하여 DEM을 제작할 때 간단하고 유용하게 사용되고 있는 보간법인 1차원에서의 선형보간법, TIN(Triangulated Irregular Network, 불규칙삼각격자망) 보간법, 직사각형에서의 Bilinear(이중선형) 보간법을 적용하였다. 각각의 보간방법에 대해 보간오차와 전파오차를 구분하여 DEM 정확도를 평가하는 이론적 방법을 제안하고, 그 결과로 지형 형태, 원천자료의 밀도, 샘플링 밀도의 관계를 설명하고자 한다.

2. 연구 내용

2.1 DEM의 오차

DEM은 DEM 제작을 위해 사용되는 원천자료의 우연오차 뿐만 아니라, 불규칙한 원천자료를 규칙 격자 형태로 변환 할 때 발생하는 좌표변환오차 및 보간오차와 같은 정오차와 전파오차 등을 포함한다.

다음 그림과 같이 DEM의 한 점 T에 대해 참값 고도를 z_T 로 하고 오차가 없는 원천자료로부터 보간하여 계산된 고도값을 H_T 라 하며, 원천자료의 우연오차로부터 전파된 T점에서의 오차는 δ_T , 실제 DEM 에서의 고도값을 Z_T 라 하면 참값과 DEM값과의 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.



[그림 1] DEM 격자 좌표와 원천자료와의 관계

$$\begin{aligned} \Delta Z_T &= z_T - Z_T = z_T - (H_T \pm \delta_T) \\ &= (z_T - H_T) \pm \delta_T \\ &= R_T \pm \delta_T \end{aligned}$$

여기에서 R_T 는 보간오차, δ_T 는 전파오차이며, 두 종류의 오차가 서로 독립이고 모두 우연오차라고 가정하면 위식은 오차전파식에 의해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\sigma_{\Delta Z_T}^2 = \sigma_{R_T}^2 + \sigma_{\delta_T}^2 \quad \text{①}$$

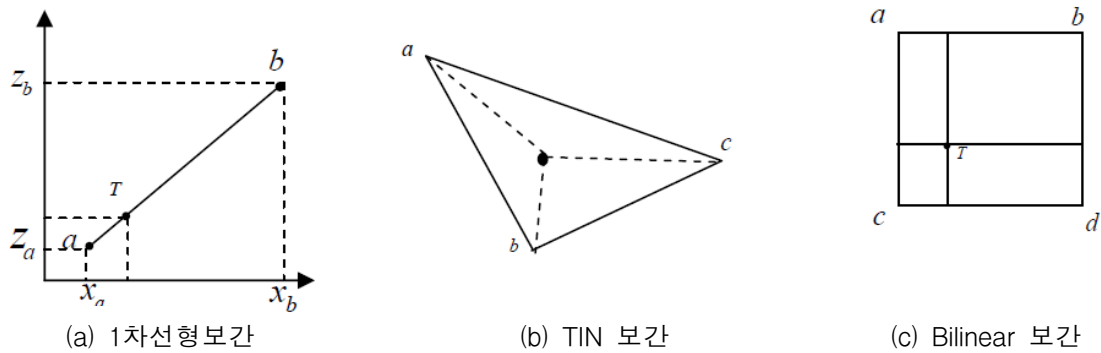
그러나 보간오차는 실제로 정오차이며, 전파오차와 독립이 아닐 수 있기 때문에 DEM 정확도 계산에 적용하는 것이 이론적으로 적합하다고는 볼 수 없다.

2.2 근사이론을 이용한 정확도 평가

근사이론은 복잡한 함수 $z(x)$ 를 단순함수 $Z(x)$ 로 근사하는 방법과 근사식에 내재한 오차를 정량적으로 특성화하는 이론으로써, 다음과 같이 임의점에서의 오차는 해당되는 구역(domain)에서 가장 큰 오차보다는 작기 때문에 DEM의 오차는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta z_T = R_T \pm \delta_T \leq \max |R_T \pm \delta_T| \leq \max |R_T| + \max |\delta_T| \quad \text{②}$$

식 ②의 R_T 와 δ_T 를 찾기 위해 본 논문에서 적용한 보간 방법은 다음 그림과 같이 선형 보간, TIN 보간, Bilinear 보간 등 3가지 종류이다.



[그림 2] DEM 제작을 위한 선형 보간 방법

Z_a, Z_b, Z_c, Z_d 이 각 점에서의 고도 값이면 각 보간 방법에 대한 선형식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

- a) 1차선형보간 : $Z_T = \omega_1 Z_b + \omega_2 Z_a, \omega_1 + \omega_2 = 1, \omega_1, \omega_2 > 0$
- b) TIN보간 : $Z_T = \omega_1 Z_a + \omega_2 Z_b + \omega_3 Z_c, \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1, \omega_1, \omega_2, \omega_3 > 0$
- c) Bilinear 보간 : $Z_T = \omega_1 Z_a + \omega_2 Z_b + \omega_3 Z_c + \omega_4 Z_d, \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 = 1, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4 > 0$

원천자료의 우연오차로부터 전파된 T점에서의 오차 δ_T 는 각 보간 방법에 따라 다음과 같이 나타낼 수 있다.

- a) 1차선형보간 : $\delta_T = \omega_1 \delta_b + \omega_2 \delta_a$
- b) TIN보간 : $\delta_T = \omega_1 \delta_a + \omega_2 \delta_b + \omega_3 \delta_c$
- c) Bilinear 보간 : $\delta_T = \omega_1 \delta_a + \omega_2 \delta_b + \omega_3 \delta_c + \omega_4 \delta_d$

여기에서 각 원천자료의 우연오차 $\delta_a, \delta_b, \delta_c, \delta_d$ 가 어떤 δ 보다 작다면 위 세 개 보간식 모두 δ_T 는 다음과 같이 δ 보다 작게 된다.

$$|\delta_T| \leq \delta$$

위 보간방법은 모두 조각적 다항식보간법(piecewise polynomial interpolation)을 적용하여 지형을 일정한 구역으로 구분하여 분석한다. 각 구역은 임의의 함수 $f(x,y)$ 로 표현하고 이함수는 2차 이상 미분가능하다고 가정하면 보간법에 따른 오차의 범위는 다음과 같이 나타낼 수 있다(Peng, 2009).

- a) 1차선형보간 : $|R_T| \leq \frac{1}{8}M_2h^2$
- b) TIN보간 : $|R_T| \leq \frac{3}{8}M_2h^2$
- c) Bilinear 보간 : $|R_T| \leq \frac{1}{4}M_2h^2 + \frac{1}{64}M_4h^4$

여기에서 M_2, M_4 는 전체 대상지역에서의 함수 $f(x,y)$ 의 2차 및 4차 도함수의 최대 크기(norm)를 의미하며, 2차 도함수 크기의 경우 지역의 경사 변화가 크면 값이 커지고, 변화가 적으면 값이 작아지는 것과 같이 지형의 복잡도를 나타낼 수 있는 인자이고, h 는 원천자료의 간격으로써 자료의 밀도를 의미한다.

[표 1] 보간방법에 따른 DEM 오차

보 간 방 법	δ_T (우연오차)	R_T (보간오차)
1차 선형보간	$ \delta_T \leq \delta$	$ R_T \leq \frac{1}{8}M_2h^2$
TIN 보간	$ \delta_T \leq \delta$	$ R_T \leq \frac{3}{8}M_2h^2$
Bilinear 보간	$ \delta_T \leq \delta$	$ R_T \leq \frac{1}{4}M_2h^2 + \frac{1}{64}M_4h^4$
전 체	$\max(R_T + \delta_T) \leq \max R_T + \max \delta_T $	

[표 1]에서 보는 바와 같이 DEM의 정확도는 보간 함수보다는 지형의 복잡도와 자료의 밀도에 더 많은 영향을 받는 것으로 나타나며, 특히 원천자료에 내재된 우연오차 보다는 지형의 특성에 더 민감하게 영향을 받는 것으로 판단된다.

이상과 같은 결과를 통해 요구되는 정확도의 DEM을 제작하기 위해서는 원천자료가 DEM 제작 대상지역 전체에 일정한 간격으로 배치될 필요는 없으며, 오히려 지형의 복잡도에 따라 원천자료의 밀도를 조정하는 것이 효과적으로 정확도를 향상시키는 방법임을 이론적으로 확인할 수 있다. 이는 이전의 많은 연구에서의 실험과 동일한 결과를 보여주고 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 DEM의 정확도가 지형형태 및 해상도에 따라 변할 수 있다는 이론적 근거를 확인하였다. 이 이론에 포함된 여러 제약조건으로 인해, DEM 정확도 평가에 이 방법

을 적용하기에는 어려움이 있을 것으로 예상되나, DEM 정확도 평가를 위한 이론적 근거를 제시한 것에 큰 의미가 있다. 향후 이론적으로 계산된 정확도와 시험적으로 평가한 정확도와의 차이를 다양한 DEM 해상도 및 보간방법에 대해 비교 분석하여 본 이론의 적합성을 확인해 볼 필요가 있다고 판단한다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단(No.2009-0087434)의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다.

참고문헌

- 국립지리원(1998.7), "수치지도 위치정확도에 관한 연구", GOVP1199811345
- 이근상, 조기성(2002), "GIS 환경에서 DEM 정확도 분석 및 해상도의 영향 평가에 관한 연구", 대한토목학회논문집-D, 제22권 제3호, pp. 538-590.
- 이동천, 배경호, 유근홍(2009), "3차원 수치지도 생성을 위한 지형공간 데이터 모델링", 한국측량학회지, 제27권, 제3호, pp. 393-400.
- 정재훈, 이태윤, 김태정(2008), "고해상도 위성영상을 이용한 정밀 DEM 생성 및 정확도 분석에 관한 연구", 한국측량학회지, 제26권, 제4호, pp. 359-365.
- Atkinson, K., and W. Han(2004), "Elementary Numerical Analysis", 3rd Ed., Chichster, John Wiley and Sons,, Hoboken, ,New Jersey
- Peng Hu, Xiaohang Liu, and Hai Hu(2009), "Accuracy Assessment of Digital Elevation Mo인 based on Approximation Theory", PE&RS, Vol. 75, No. 1, pp. 49-56
- Shoichiro Nakamura(2002), "Numerical Analysis and Graphic Visualization with Matlab", 2nd Ed., Prentice Hall PTR.
- Watson Fulks(1978), "Advanced Calculus : an Introduction to analysis", 3rd Ed., Wiely.