

DEM 표준오차를 고려한 TIN 구축의 효율성 분석에 관한 연구

이근상* · 채효석** · 조기성***

The efficiency analysis of TIN construction considering DEM standard error

Geun-Sang Lee*, Hyo-Seok Chae**, Gi-Sung Cho***

요 약

GIS분야에서 불규칙삼각망은 저수량계산, 지형분석 등에 활용되며 표고, 경사, 방향 정보를 가지고 있기 때문에 처리시간과 용량이 많이 소요된다. 등고선을 활용하여 TIN을 구축하는 과정에서, 선의 단순화를 위해 사용하는 weed tolerance는 등고선상의 샘플 간격에 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 다양한 크기의 weed tolerance에 따른 TIN의 처리시간과 용량을 계산하였으며, 적절한 weed tolerance를 제시하기 위해 TIN으로부터 생성된 수치표고모형의 표준오차를 평가하여 허용오차 범위를 만족하는 weed tolerance를 결정하였다. 평가결과, DEM 표준오차 5m를 만족하는 TIN의 weed tolerance는 70m였으며, DEM의 해상도는 20m로 나타났다.

주요어 : 불규칙삼각망, 수치표고모형, Weed tolerance, 표준오차

ABSTRACT : TIN is applied in pondage calculation and topography analysis. And much processing time and storage capacity are needed because TIN contains information as elevation, slope and aspect. In the construction of TIN using contour, weed tolerance that is used for the simplification of line is influenced on the sampling distance of contour. The processing time and storage capacity of TIN are calculated in according to the weed tolerance of various size in this research. And we estimated DEM's standard error that is created from TIN to present reasonable weed tolerance and decided the size of weed tolerance that satisfy

* 전북대학교 부설 공학연구원 공업기술연구센터 연구원

** 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원

*** 전북대학교 토목공학과 교수

DEM standard error. We got TIN's weed tolerance that satisfy DEM standard error(5m) was 70m and DEM's resolution is 20m as estimation result.

Keywords : Triangle Irregular Network, Digital Elevation Model, Weed tolerance, Standard Error

1. 연구배경 및 목적

GIS에서 활용되는 불규칙삼각망(Triangle Irregular Network ; TIN)은 토공량 계산, 단면도작성, 저수량계산 등 다양한 공간분석에 활용된다. 일반적으로 수치지형도의 등고선이 TIN을 구축하기 위해 주로 이용되는데, TIN을 구축하기 위한 대상지역이 넓어질수록 구축에 소요되는 처리시간과 용량은 기하 급수적으로 증가하게 된다.

TIN 구축에 소요되는 처리시간과 용량은 등고선에서 델로니 삼각망을 구성하기 위해 선정하는 샘플들의 간격과 밀접한 관계가 있다. 샘플간격이 좁을수록 실제 지형과 유사한 TIN을 구축할 수 있지만 상대적으로 매우 많은 처리시간과 용량이 요구되기 때문에 효율성 측면에서 바람직하지 못하다.

TIN 구축시 등고선을 구성하고 있는 무수한 점들중에서 TIN 구축에 활용되는 샘플들을 어느 정도의 간격으로 선정하느냐에 따라 등고선의 단순화가 진행되는 데, 이러한 단순화 과정에서 발생하는 tolerance에는 proximal tolerance와 weed tolerance가 있으며 이중 weed tolerance가 TIN 구축에 많은 영향을 미치게 된다.

TIN 구축에 적절한 weed tolerance는 TIN 생성에 필요한 처리시간 및 용량과 관련되어지므로 분석 목적에 적합한 tolerance를 결정해야 한다. 그러나, 단순히 weed tolerance만을 고려하여 TIN의 처리시간과 용량을 결정할 경우 그 기준이 분석목적에 따라 달라지므로 새로운 분석기준을 설정할 필요가 있다. 구축된 TIN은 지형 분석을 위해 주로 수치표고모형(Digital Elevation Model ; DEM)으로 변환되므로, TIN은 DEM 오차의 1차적인 영향요인이 된다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 TIN 구축시 DEM 표준오차 기준을 만족하는 weed tolerance를 결정하고자 하였다.

2. 기존 연구 검토

지형의 수치모형을 생성하기 위한 개념은 비교적 최근에 개발되었으며, Digital Terrain Model 이라는 용어는 1950년대 말에 MIT 대학의 Miller와 La Flamme(1958)에 의해 소개되었다.

지형을 표현하는데 있어서 TIN은 다른 방법들에 비해 여러 가지 장점을 갖는다. 먼저, Mark(1975)는 적은 저장용량으로도 지형을 정확하게 표현할 수 있는 TIN 데

이터모델의 체계를 제시하였다.

TIN을 구축시 격자점을 선정하는 방식에 따라 저장용량에 큰 차이를 보이게 된다. 이에 대한 연구로서 Peucker 등(1978)은 지표의 특정점 개념에 기초한 격자점 선정방법을 제시하였으며, Chen과 Guevara(1987)는 VIP 연산방법을 제시하였다. 또한, Floriani(1984)는 삼각망을 계층적으로 분할해 나가는 계층적 삼각망 구성법을 제시하였다.

TIN에 대한 국내 연구로서 최병길(1994)은 비정규삼각망 데이터구조에 의한 지형의 수치화로 TIN 데이터 구조에 의한 구축 방법을 연구하였으며, 유복모 등(1994)도 GIS에 다양하게 이용하기 위한 TIN 생성기법을 연구하였다.

지형표현을 위한 효과적인 TIN 구축의 효용성 평가를 위해 본 연구에서는 DEM의 오차평가 방법을 제시하였다. DEM의 오차는 원시자료의 샘플링 간격에 의해 큰 차이를 보이게 된다. Ayeni(1982)는 네 가지 형태의 지형에 대해 7가지 샘플링 기법의 상대적인 효용성을 평가하였으며, Balce(1987)는 최적의 샘플링 간격을 결정하기 위해 4가지 컴퓨터 프로그램을 평가했다. 국내에서는 이근상과 조기성(2002)이 산정, 골짜기, 능선과 같은 다양한 지형특성을 고려한 DEM 정확도 평가기법을 제시하였다.

국내외적으로 TIN에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으나, DEM 허용오차 기준을 만족하는 TIN 구축의 효용성 평가에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 따

라서, 본 연구에서는 이러한 TIN 구축의 효용성을 평가하기 위한 weed tolerance의 영향을 DEM 오차평가기준에 의해 살펴 보았다.

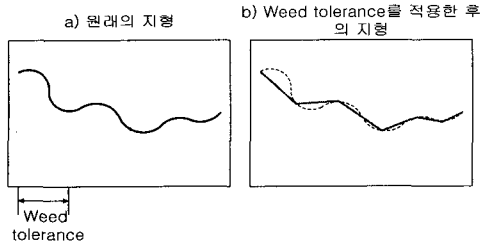
3. TIN 데이터모델과 DEM 오차평가

3.1 TIN 데이터모델

TIN 데이터모델은 꼭지점(Vertex), 모서리(Edge), 삼각형(Triangle), Hull 폴리건으로 구성된다. TIN을 이용하여 지형을 표현할때 너무 많은 데이터가 존재시 지형 표현에 소요되는 시간과 용량으로 인해 효율성이 저하되는 문제점이 있다. 따라서, TIN 구축시 불필요한 데이터가 처리되지 않도록 weed tolerance와 proximal tolerance가 사용되며 일반적으로 weed tolerance가 더 큰 영향을 미친다. TIN을 구현하는 데에는 Linear와 Quintic 보간법이 이용되며, 보간하는 과정에서 삼각형의 꼭지점 위치에 있는 z값을 사용한다.

1) Feature의 단순화에 사용되는 tolerance

TIN을 구축시 등고선상의 버텍스를 이용하는데 너무 많은 버텍스가 존재할 경우 TIN 구축에 소요되는 시간과 처리용량은 기하급수적으로 증가하게 된다. Weed tolerance는 이러한 등고선상의 버텍스 간격을 조절하기 위해 선형사상을 단순화하는 방법으로 [그림 1]과 같이 일정한 간격의 버텍스를 지정시 선형이 단순화되는 결과를 가져온다.

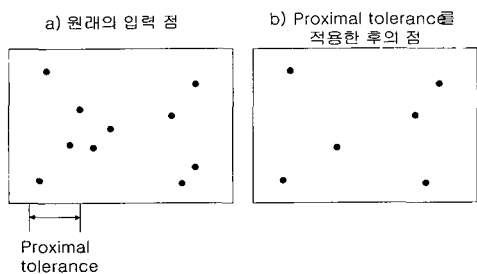


[Fig. 1] Weed tolerance

그러나, 너무 큰 값을 지정할 경우 왜곡된 지형이 생성되어 실제 지형과의 많은 오차를 갖게 되는 단점이 있으므로 적절한 weed tolerance를 결정하는 것이 매우 중요하다.

Proximal tolerance는 수평면상의 모든 점의 위치를 구분하는 지표 단위의 최소거리로 정의된다. proximal tolerance는 점, 그리고 weed tolerance가 적용된 후에도 남아 있는 아크의 노드와 버텍스에 적용된다. 두 개 이상의 점이 proximal tolerance 내에 존재한다면 먼저 읽혀지는 점만이 다음 과정에 사용된다.

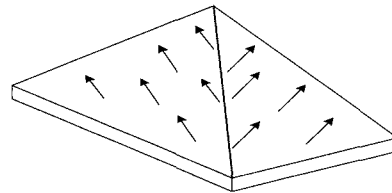
Proximal tolerance를 작게 하면 지형을 보다 현실적으로 표현할 수 있겠지만, 표현할 지형의 범위가 매우 넓을 경우 처리하는 컴퓨터의 용량과 정밀도에 문제가 발생하므로 지형의 범위에 따라 적절한 값을 설정해야 한다.



[Fig. 2] Proximal tolerance

2) TIN의 보간법

Linear 보간에서는 보간되는 지형의 값이 점이 내부에 놓이게 되는 삼각형의 꼭지점에 대한 z값에 대해서만 계산이 이루어진다. TIN에 breakline이 있는 경우에는 Linear 보간이 인접한 삼각형의 형태에 영향을 받지 않기 때문에 보간법에는 영향을 주지 않는다.



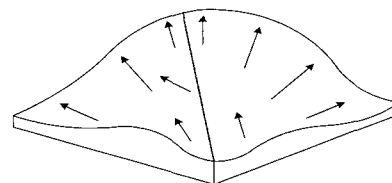
[Fig. 3] Linear Interpolation

지형의 값은 수직선과 삼각형의 세 꼭지점을 포함하는 평면이 만나는 곳에서 구해진다. 삼각형에서 한 점(x, y, z)의 Linear 보간에 대해 일반화된 등식은 다음과 같다.

$$Ax + By + Cz + D = 0$$

A, B, C, D는 삼각형의 세 꼭지점의 좌표에 의해 결정되는 상수이다.

Quintic 보간은 Linear 보간에 비해 지형을 부드러운 연속면으로 표현하는 특징을 갖는다. 이러한 부드러운 특징은 TIN 삼각형에서 점들의 z값에 대한 보간을 수행할 때 인접한 삼각형의 기하학적인 형태를 고려하여 만들어진 것이다.



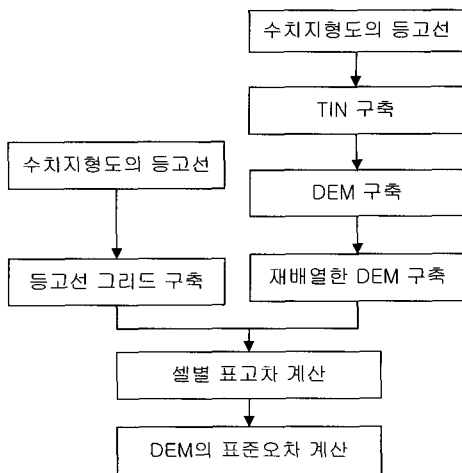
[Fig. 4] Quintic Interpolation

Quintic 보간에서는 x 와 y 의 bivariate 오차다항식으로 된 Breakline bivariate quintic 보간 알고리즘이 사용된다. Breakline이 없는 지형에서 점의 z 값에 대한 Quintic 보간의 일반화된 등식은 다음과 같다(Akima와 Hiroshin, 1978).

$$z(x, y) = \sum_{j=0}^5 \sum_{k=0}^{5-i} a_{jk} x^i y^k$$

3.2 DEM 오차평가

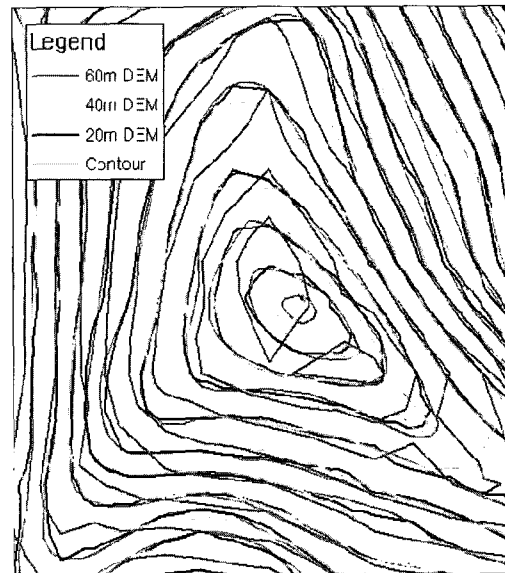
다양한 weed tolerance에 따른 처리시간과 용량만으로 TIN 구축의 효용성 분석시 그 기준을 설정하기가 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 TIN을 이용하여 변환한 DEM의 오차를 평가하여 허용범위내의 DEM 오차를 확보하는 weed tolerance를 결정하고자 한다. DEM의 오차를 평가하기 위한 과정은 [그림 5]와 같다.



[Fig. 5] Evaluation procedure of DEM standard error

먼저 수치지형도의 등고선을 이용하여 일정한 셀크기를 갖는 등고선 그리드를 구축한다. 두 번째 단계로 수치지형도의 등고선을 이용하여 TIN을 구축한 후 다양한 셀크기를 갖는 DEM으로 변환한 후, 등고선 그리드와 비교하기 위해 등고선 그리드의 셀크기로 재배열하여 등고선 그리드와의 차를 구하여 셀별 표고차를 계산한다. 마지막으로 통계분석을 수행하여 각 셀크기별 DEM의 표준오차를 계산하게 된다.

예를들어 [그림 6]은 등고선 그리드와 20m, 40m, 60m 해상도의 DEM과의 오차를 상호 비교한 것으로 셀크기가 커질수록 등고선 그리드와 DEM과의 오차는 증가하게 된다(이근상과 조기성, 2002).

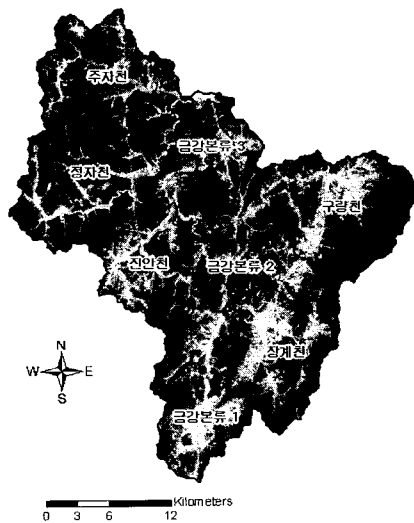


[Fig. 6] Error Comparison of Contour Grid and DEM by resolution

4. 적용 및 분석결과

4.1 연구대상지역

용담댐은 전북 진안군 용담면 월계리에 높이 70m, 길이 498m의 콘크리트 표면차수벽형 석피댐으로서 저수지 용량은 815백만 m^3 이고, 저수지에 수몰되는 면적은 31,595,000 m^2 , 이설도로는 11개노선 64.4km이다. 전주권의 용수공급을 위한 도수터널은 직경이 3.2m, 길이가 21.9km로서 1997년 12월에 굴착 완료되었다. [그림 7]은 용담댐 유역으로서 소유역 경계를 표시하였다.



[Fig. 7] Study area

4.2 TIN의 효용성 분석

TIN은 표고, 경사, 방향 등 다양한 정보를 제공하므로 지형분석에 주로 활용된

다. 따라서, 정확한 지형분석을 위해서는 weed tolerance를 작게 하여 정밀한 TIN을 구축하는 것이 이상적이지만, TIN을 구축하는데 소요되는 처리시간과 용량도 함께 고려해야 한다. 본 연구에서는 TIN을 구축하기 위해 1/5,000 수치지형도 196도엽을 이용하였으며, 수치지형도상의 등고선 레이어인 7111과 7114를 자동으로 추출하기 위해 ArcInfo AML(Arc Macro Language)로 프로그래밍 하였다. 추출한 등고선 레이어는 도면경계부분에서 등고선간의 접합오류가 존재하므로 ArcEdit 환경에서 편집한 후 위상을 확립하였다. 또한 등고선에 부여된 등고값중 비정상적인 값을 갖는 오류를 수정하기 위해 속성정확도 검증을 부가적으로 수행하였다.

완성된 등고선 레이어로부터 다양한 weed tolerance별로 TIN을 구축하였으며, 구축된 TIN의 삼각형수, 꼭지점수, 처리시간 및 용량을 분석하였다.

등고선으로부터 TIN을 구축시 활용되는 보간법으로 Linear 보간과 Quintic 보간이 있다. 연속적인 지형표현을 위해서는 Quintic 보간이 유리하지만 본 연구대상지역이 930 km^2 라는 광범위한 면적을 포함하고 있어 Quintic 보간의 어려움이 있었다. Quintic 보간의 경우, weed tolerance를 100m로 지정하여도 처리시간이 10시간을 초과하였으며, weed tolerance가 40m 이하에서는 프로그램의 처리능력을 벗어나 시스템이 정지되는 문제가 발생하였기 때문에, 본 연구에서는 Linear 보간을 이용하였다.

TIN 구축시 시스템 사양은 중요한 변수가 된다. 본 연구에서는 CPU Pentium III

1GHz, RAM이 512MB인 시스템을 활용하였으며, TIN 구축동안에 다른 응용프로그램은 이용하지 않았다.

<표 1>은 weed tolerance별 TIN의 삼각형 수, 꼭지점 수, 처리시간 그리고 용량을 비교 분석하여 제시한 것이다. <표 1>의 분석결과에서, weed tolerance가 클수록 처리시간과 용량이 단축되는 장점은 있으나 실제 지형을 효과적으로 반영하지 못한다는 단점이 있다. 또한, 적절한 weed tolerance 기준설정이 어렵기 때문에 다음 단계인 DEM 오차 평가를 통해 DEM 허용오차내에서 적절한 weed tolerance를 결정하는 것이 바람직하다.

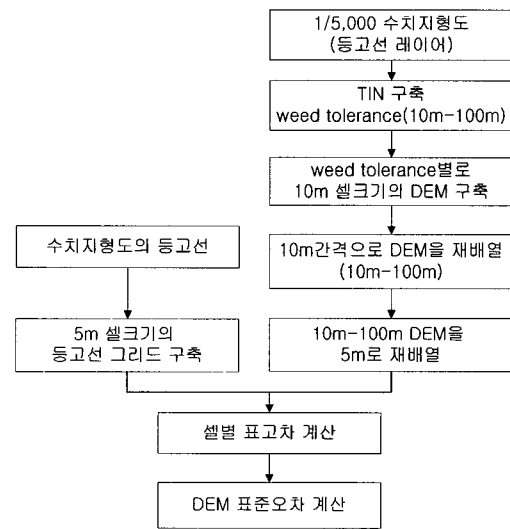
축하였다. 구축한 등고선 그리드는 다음 단계에서 구축되는 다양한 셀크기의 DEM과 비교되어진다.

두 번째 단계로 등고선 레이어를 이용하여 10m에서 100m까지의 weed tolerance를 갖는 TIN을 Linear 방식으로 구축한 후 10m 셀크기를 갖는 DEM을 구축하였다. 10m DEM을 최근린내삽법을 이용하여 10m~100m까지의 DEM으로 재배열하였으며 등고선 그리드와의 비교를 위해 다시 5m로 재배열하였다. 등고선 그리드와 다양한 셀크기를 갖는 DEM과의 차로서 셀별 표고차를 계산하였으며, 통계분석을 수행하여 셀 크기별 DEM의 표준오차를 계산하였다.

Table 1. Analysis result of TIN by weed tolerance

Weed tolerance	삼각형 수	모서리 수	처리시간 (Min)	용량 (MB)
10m	12144769	6072448	147	396
20m	7706941	3853534	77	251
30m	5624917	2812522	53	183
40m	4394045	2197086	44	143
50m	3577383	1788755	32	116
60m	2998467	1499297	27	98
70m	2568777	1284452	18	84
80m	2239665	1119896	14	73
90m	1979309	989718	11	65
100m	1768879	884503	7	58

DEM 오차를 평가하기 위해, 먼저 1/5,000 수치지형도에서 등고선 레이어를 추출한 후 ArcInfo LINEGRID 명령어를 이용하여 5m 셀크기의 등고선 그리드를 구



[Fig. 8] Analysis procedure of DEM standard error

<표 2>는 weed tolerance와 셀크기를 고려한 DEM의 표준오차를 분석하여 정리한 것이다.

Table 2. Weed tolerance별 DEM 표준오차 분석결과

Cell size \ Weed tolerance	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m
10m	2.756	4.188	5.654	7.300	8.720	10.353	11.592	13.239	14.32	15.957
20m	2.816	4.193	5.620	7.248	8.642	10.263	11.502	13.145	14.224	15.854
30m	2.954	4.240	5.615	7.209	8.581	10.200	11.422	13.042	14.140	15.749
40m	3.025	4.330	5.605	7.215	8.521	10.157	11.349	12.982	14.051	15.665
50m	3.348	4.459	5.800	7.243	8.719	10.133	11.539	12.932	14.255	15.605
60m	3.592	4.615	5.895	7.291	8.744	10.122	11.526	12.906	14.225	15.547
70m	3.837	4.792	6.006	7.361	8.769	10.137	11.498	12.871	14.179	15.490
80m	4.124	5.003	6.155	7.454	8.836	10.170	11.517	12.859	14.165	15.468
90m	4.400	5.220	6.309	7.577	8.898	10.213	11.538	12.897	14.162	15.445
100m	4.681	5.442	6.478	7.687	8.987	10.273	11.572	12.895	14.173	15.441

분석결과 DEM 표준오차는 weed tolerance의 거리보다는 셀크기에 더 큰 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

예를 들어 weed tolerance가 100m이고 셀크기가 20m일 경우 DEM 표준오차가 5.442m인 반면 weed tolerance가 20m 일지라도 셀크기가 100m일 경우는 DEM 표준오차가 15.854로 매우 크게 나타남을 알 수 있었다. 또한 셀크기가 40m 이상에서는 weed tolerance에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

현재 우리나라는 DEM에 대한 허용오차기준이 마련되어 있지 않기 때문에 적절한 DEM을 결정하기는 어렵지만, 일반적으로 1/5,000 수치지형도가 5m 간격의 등고선을 나타내므로, DEM 허용오차범위를 5m로 가정하여 적절한 weed tolerance와 셀크기를 결정하고자 한다.

따라서, <표 2>의 분석결과에서 TIN 구축시 활용되는 weed tolerance는 70m를 그리고 DEM의 셀크기는 20m로 결정하는

것이 가장 바람직하다. 또한 이러한 분석 결과는 앞 단계의 TIN 구축에 소요되는 처리시간과 용량인 18분과 84MB로 효율성 측면에서도 비교적 양호한 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구는 저수량계산 및 지형분석 등에 활용되는 TIN을 구축시 DEM 오차를 고려하여 적절한 weed tolerance의 크기를 결정하는 것으로 용담댐 유역을 연구대상 지역으로 분석한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 다양한 크기의 weed tolerance별로 TIN을 구축하는데 소요되는 삼각형의 수, 모서리 수, 처리시간 및 용량 등을 평가할 수 있었다.
2. 다양한 크기의 weed tolerance로 구축한 TIN을 DEM으로 변환후 여러 해상도

로 재배열하여 DEM 오차 평가 과정을 적용함으로써, weed tolerance와 해상도를 모두 고려한 DEM 표준오차를 계산할 수 있었다.

3. DEM 표준오차 허용범위를 1/5,000 축척에서 5m로 가정하여 TIN 구축에 효과적인 weed tolerance를 70m로 결정할 수 있었다.

4. 본 연구에서는 DEM 표준오차 허용범위를 1/5,000 축척에서 5m로 가정하여 TIN 구축에 효과적인 weed tolerance를 결정한 것으로서, 향후 DEM 표준오차 허용기준 이 조속히 제시될 필요가 있다. 또한 본 연구는 지형의 복잡성이나 지형의 구성형태까지를 고려하지는 않았으며 향후 연구를 통해 이러한 지형의 복잡성이나 구성형태까지를 고려한 TIN 구축의 효용성을 평가해 볼 필요가 있다.

참고문헌

- 유복모, 장지원, 윤정학, 1994, 지형공간정보체계의 이용을 위한 불규칙삼각망 생성기법에 관한 연구, 한국측지학회, Vol. 12, No. 2, pp. 209-218.
- 이근상, 조기성, 2002, GIS 환경에서 DEM 정확도 분석 및 해상도의 영향 평가에 관한 연구, 대한토목학회 제 22권 제 3-D호, pp. 583-590.
- 최병길, 1991, 지형정보시스템의 수치표고모델 구축에 관한 연구, 한양대학교 대학원 박사논문.
- Akima and Hiroshin, 1978, Bivariate interpolation and smooth surface fitting for irregularly distributed data points, ACM Transactions for Mathematical Software, , pp. 148-159.
- Ayeni, O. O., 1982, Optimum sampling for digital terrain models : A trend towards automation, PE & RS, 48, pp. 1687-1694.
- Balce, A. E., 1987, Determination of optimum sampling intervals in grid digital elevation models(DEM) data aquisition, PE & RS, 53, pp. 323-330.
- Chen, Z. T., and Guevara J. A., 1987, Systematic Selection of Very Important Points(VIP) from DTM for constructing TIN, Proceedings of Auto-Carto, Vol. 8, pp. 50-56.
- Floriani, L. D., Falcidieno, B., Nagy, G., and Pienovi, C., 1984, A hierarchical structure for surface approximation, Compute & Graphics, Vol. 8, No. 2, pp. 183-193.
- Mark, D. M., 1975, Geomorphometric parameters : a review and elevation”, Geografiska Annaer, 57A, pp. 165-177.
- Miller, C. L. and LaFlamme, R. A., 1958, The digital Terrain Model - theory & application, PE & RS 24(3), pp. 433-442.
- Peucker, T. K., Fowler, R. J., Little, J. J., and Mark, D. D., 1978, The TIN, Proceedings of DTM Symposium, pp. 516-540.