한국측지학회지, 제 16 권, 제 1 호, pp.67~74(1998년 6월 30일)

TIN과 GRID 기반의 수치지형모델을 이용한 지형분석에 관한 연구
A Study on the Terrain Analysis using TIN & GRID-Based Digital Terrain Model

윤 철 규*
Yoon, Cheol-Gyu

要 旨

본 연구에서는 PC환경에서 축척 1:5,000의 지형도를 원 데이터로 하여 등고선 레이어를 만들고, 이를 이용하여 TIN과 GRID 데이터 구조 기반의 수치지형모델을 생성하여 지형분석에 관한 연구를 수행하였다. 지성선(breakline)을 고려하지 않은 경우와 고려한 경우에 대해 각각의 데이터 구조 기반별 수치지형모델을 생성하고 실행 시간, 저장 파일의 크기, 평균 표고, 표준 편차 등을 분석하였으며, 격자 데이터 구조 기반의 경우 5×5 m, 10×10 m, 15×15 m, 30×30 m, 45×45 m, 60×60 m의 셀 크기를 고려한 사면경사도와 경사방위도를 생성하여 비교 · 분석하였다. 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. TIN과 GRID기반의 DTM을 생성시에는 지형의 기복이 심할수록 지형 특징인 지성선을 고려하는 것이 실제지형을 보다 정교하게 표현하는 방법임을 알 수 있었다. 격자 크기를 증가시켜도 평균표고는 큰 변화를 나타내지 않았다. 그러나 격자 크기가 커질수록 실행시간은 상당히 단축되었고 저장공간 또한 매우 작아짐을 알 수 있었다. 따라서 DTM을 응용분야에 보다 효율적으로 적용하기 위해서는 최적의 격자 크기를 결정하는 것이 선결 과제임을 알 수 있었다. 사면경사각과 경사방위각 계산을 수행한 결과 대조적인 작은 변화를 나타냈다. 사면경사각은 격자 크기가 커질수록 작아지는 경향을 나타낸 반면 경사방위각은 격자 크기가 커질수록 커지는 경향을 나타냈다.

ABSTRACT

This paper performed terrain analysis using DTM(digital terrain model) with TIN/ GRID structure on PC environment. Contour layer from 1:5,000 scale map was used to produce DTM. DTMs were produced with and without considering breakline for each data structure. Processing time, file size, mean elevation and standard variation were analyzed for each DTM. slope map, aspect map were analyzed for grid structure with consideration of 5×5 m, 10×10 m, 15×15 m, 30×30 m, 45×45 m, 60×60 m cell size respectively. The results suggest following; The incorporation of breakline does improve mapping accuracy for highly disturbed landscape, Mean elevation doesn't increase as the grid size increases, while processing time, storage room is significantly lessened. Thus, the optimal grid size must be determined in advance for efficient application. slope decreases, while aspect increases as grid size is increasing.

1. 서 론

수치지형모델(digital terrain model : DTM)은 원래 도로공학적인 목적을 위한 지형 표면을 표현하는데 이용되어 왔으나 오늘날 DTM의 응용은 노선공학, 조경, 토지측량, 지도제작, 군사지도제작, 원격탐측(RS), 토지정보시스템(LIS), 지형공간정보시스템(GSIS) 등 많은 분야에서 다양화되고 있다. 많은 분야에서 DTM 이용의 급속한 성장과 새로운 이용분야의 대두는 정보 처리와 그래픽 가시화 성능 등 최근의 컴퓨터 기술 발달이 크게 기여하였다. 이러한 발달로 인하여 DTM 생성과정 즉, 데이터 획득, 보간, 디스플레이 등이 저가의 PC에 의해 다루어질 수 있게 되었다.[1,3,4]

DTM은 GRID, profile, random, 디지타이징한 등고

*충북대학교 공학박사(교육 연구사)

선과 같은 여러 가지 데이터 원과 형식을 이용하여 생성될 수 있다. 그리고 이들은 또한 다양한 기법을 이용하여 수집될 수 있다.[8)]

본 논문은 DTM을 이용한 지형분석에 관한 연구로써 PC환경에서 축척 1:5,000의 지형도를 원 데이터로 하여 등고선 커버리지를 만들고, 이를 이용하여 TIN과 GRID 데이터 구조 기반의 DTM을 생성하여 지형분석 절차를 수행하였다. 첫 번째로 등고선 커버리지를 이용하여 지성선(breakline)을 고려하지 않은 경우와 고려한 경우에 대해 각각의 데이터 구조 기반별 DTM 생성의 실행 시간, 저장 파일의 크기, 평균 표고 등을 분석하였으며, 두 번째로 GRID 데이터 구조 기반의 경우 5×5 m, 10×10 m, 15×15 m, 30×30 m, 45×45 m, 60×60 m의 grid 크기를 고려한 사면경사도(slope map)와 경사방위도(aspect map)를 생성하여 비교 · 분석하였다.

2. 수치지형모델

2.1 데이터 획득

데이터 원의 선택과 표본추출의 방법은 최종 DTM의 질에 있어 매우 중요하다. DTM 데이터는 몇 가지 기법에 의해 획득될 수 있는데 가장 일반적인 기법은 지상측량, 사진측량에 의한 데이터 획득, 그리고 디지타이징한 수치지도이다.[10,12)] 본 연구에서는 디지타이징한 수치지도를 이용했다.

사진측량에 의한 데이터 획득 기법은 대규모의 지역이 포함되어야 하는 경우, 정보가 기존의 종이 지도로부터 획득될 수 없는 경우, DTM 생성이 더욱 정교한 측량 프로젝트의 부분인 경우 가장 바람직한 기법이다. 일반적으로 DTM 데이터는 기계적 혹은 해석적 입체 도화기를 이용하여 획득할 수 있으나 해석적 입체 도화기가 더욱 바람직하다. 왜냐하면 이것은 반자동 혹은 완전 자동 표본추출 예를들면 밀도 변화적(progressive), 선택적(selective), 혼합(composite) 표본추출, 그리고 디지털 입체 영상 상관관계(digital stereo image correlation)의 가능성을 갖기 때문이다.[5,6,8)]

필수 정보가 기존의 종이지도로부터 획득될 수 있고, 출력의 정확도가 지배인자(dominant factor)가 아니라면 디지타이징한 수치지도를 이용하는 기법이 가장 바람직한 기법이다. 실제로 이 기법은 가장 간단하고, 가장 저렴한 기법으로 알려져 있다. 데이터는 간단한 벡터 디지타이징을 이용하여 수동으로 혹은 래스터 스캐닝을 이용하여 자동으로 획득된다. 등고선을 디지타이징하는 동안 생긴 에러와 등고선 생성과정 중에 생기는 에러 또한 디지타이징한 데이터의 질에 영향을 미친다. 이러한 단점에도 불구하고 등고선 디지타이징과 스캐닝은 여전히 널리 이용되고 있다.

2.2 DTM의 기능적 요건

본 연구는 DTM을 이용한 지형분석에 관한 연구이다. 따라서 DTM에 있어 일련의 작업 즉, 데이터 수집, 전처리, 보간, 그래픽 표현 등이 수행되어야 한다. 본 연구에서 확인한 기능적 요건은 TIN과 GRID 데이터 구조를 강조하는 다음과 같은 GIS 관련 지형분석 분야이다.

▶ 등고선 생성
▶ 격자화와 래스터화
▶ 사면경사도와 경사방위

2.3 DTM의 데이터 구조

DTM 데이터는 여러가지 데이터 구조를 이용하여 저장될 수 있고, 데이터 구조는 등고선, 단면도, 격자, 쿼드트리(quadtree), 삼각망일 수 있다. 본 연구에서는 특별한 데이터 구조의 하나 즉, 불규칙삼각망(TIN)을 중심으로 설명한다.

2.3.1 불규칙 삼각망(TIN)의 구조

TIN은 GRID와 쿼드트리에 비해 상당히 많은 장점을 제공한다. 대부분의 DTM, GIS, 측량 패키지들은 DTM의 생성, 조작, 그리고 표면 분석을 위해 TIN 구조를 이용하고 있다. TIN 구조의 장점은 다음과 같다.

▶ 삼각형의 크기와 형상이 지형 거칠기에 따라 변화한다. 모든 데이터 점이 이용된다.

▶ 삼각형의 변을 따라 지성선을 고려할 수 있다.

▶ 등고선을 삽입하는 중에 격자 구조에서 일어날 수 있는 안부점에 관한 문제(saddle point problem)를 TIN 구조에서는 피할 수 있다.

▶ 삼각형 조각을 기반으로 하는 지형 파라미터 계산의 일부가 경사, 체적 등과 같이 간단하다.

2.3.2 TIN의 저장

모든 구조기반 오퍼레이션의 성능은 데이터가 저장되는 방법에 달려있다. TIN에 있어 DTM 데이터는 몇 가지 방법으로 저장될 수 있다. 일반적으로 이것은 삼

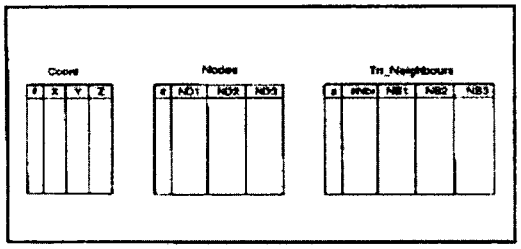

그림 1. TIN 데이터 구조의 예

각형(triangle) 기반, 노드(node) 기반, 변(side) 기반 혹은 그들의 조합일 수 있다. 등고선 생성 절차를 위해서는 변 기반 절차가 적당하다. 반면, 삼각형 기반의 구조는 사면경사, 경사방위각, 체적 계산 등을 위해 좋다. 다음 그림은 삼각형 기반의 구조를 보여준다.[4,7]

2.3.3 등고선 생성 알고리즘

등고선 생성 알고리즘은 선형 보간과 3개의 테이블 즉, 점 테이블(Point#, X, Y, Z), 변 테이블(Side#, Node 1, Node2, RightTri, LeftTri), 삼각형 테이블(Triangle#, Side1, Side2, Side3)을 갖는 변 기반의 구조를 기초로 한다. 다음 그림은 변 기반의 구조를 보여준다.

이 알고리즘은 다음의 방법으로 수행한다. 우선 데이터의 양극단 높이(extreme height) 즉, 가장 낮은 Z좌표와 가장 높은 Z좌표가 계산된다. 이러한 양극단 높이와

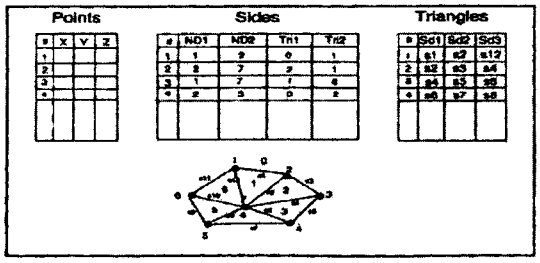

그림 2. 변-기반 구조

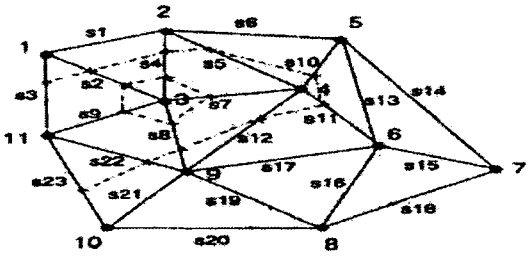

그림 3. 등고선 기입의 예

지정 등고선 간격으로부터 필요 등고선의 높이는 다음 식에 의해 계산될 수 있다.

$$Hreq := trunc((Hmin/interval) + 1)*interval \quad (1)$$

등고선 삽입은 가장 낮은 추출 등고선과 함께 시작하여 전체의 등고선 셀이 처리될 때까지 계속된다.

2.4 격자화와 래스터화 알고리즘

삼각형의 망으로부터 격자화는 point-in-triangle containment test를 해결하고 격자점에서 높이를 보간하는 문제이다. 이 평가는 몇 가지 방법 즉, 각도와 방위, 1차식의 부호, 또는 dropped/plumb-line 접근방법 등으로 수행할 수 있다. 두 번째 단계는 격자점의 높이를 계산하는 것이다. 이 단계에서는 여러 가지 보간 방법을 이용할 수 있다.

3. DTM으로부터 지형정보 추출 알고리즘

3.1 사면경사각(slope)

임의 셀에 대한 사면경사각 및 경사방위각을 계산하는 경우 아래 그림 4와 같이 주변 셀의 표고정보를 이용하여 계산 한다.[2] 그림에서 a, b, d, e는 각각 해당 셀의 표고치이다. 여기에서 셀과 셀 사이의 거리를 s라 하면 경사면에 연직한 법선 벡터 n을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$n = vx \times vy = (2s, 0, d-b) \times (0, 2s, a-e)$$
$$= (b-d, e-a, 2s) = (n_x, n_y, nz) \quad (2)$$

따라서 법선 벡터 n이 X, Y 평면의 수선과 이루는 각도 θ는 다음과 같이 정의된다.

$$\sin\theta = \left(\frac{n_z}{\sqrt{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2}}\right) \quad (3)$$

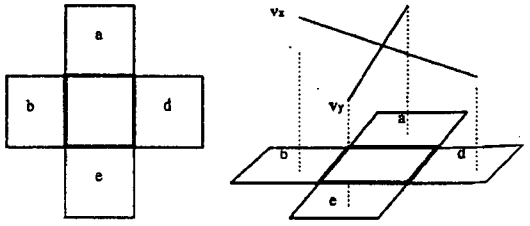

그림 4. DTM으로부터 사면경사각 계산

이로부터 경사각은 (90-θ)로 정의되므로 사면경사각은 다음과 같이 계산된다.

$$slope = acos\left(\frac{2s}{\sqrt{(d-b)^2+(a-e)^2+4s^2}}\right) \quad (4)$$

3.2 경사방위각(aspect)

경사방위각은 북쪽을 +Y 방향이라고 했을 때 벡터 n(nx, ny, nz)을 X, Y 평면상에 투영시켰을 때 +Y 방향으로부터 시계 반대방향으로의 각으로 정의되며, 이는 벡터성분 nx, ny에 따라 다음과 같은 몇가지 조건에 의하여 결정된다.

$$Aspect = \begin{cases} 360 - \arctan(nx/ny) & \text{for } nx > 0,\ ny > 0 \\ \arctan(nx/ny) & \text{for } nx < 0,\ ny > 0 \\ 90 + \arctan(nx/ny) & \text{for } nx < 0,\ ny < 0 \\ \arctan(nx/ny) & \text{for } nx > 0,\ ny < 0 \end{cases} \quad (5)$$

3.3 음영기복도

음영기복도는 사면경사와 경사방위각을 이용하여 실제로 지형과 태양고도에 의한 그림자 효과를 표현한 것이다.[11] 음영기복도는 지표가 모두 Lambertian Surface라고 가정하고 태양으로부터 얼마의 각도로 빛을 받는가를 나타낸다. 즉, 태양이 지표면의 연직선상에 위치한 경우에는 1을 부여하고, 그 각이 점점 커짐에 따라 점점 작은 값을 부여하게 되는데 이는 태양의 방향과 지표면의 수선이 이루는 각도의 cosine 값으로 정의된다. 다음은 이러한 개념을 나타낸 수식과 그림이다.

$$\cos\gamma = \cos\theta_0 \mathrm{CDOT} \sin\theta_0 + \sin\theta_0 \mathrm{CDOT} \sin\theta_n \cdot \cos(\phi_n - \phi_0) \quad (6)$$

4. 실험 및 결과분석

본 연구는 PC환경에서 축척 1:5,000의 지형도를 원형 데이터로 하여 등고선 레이어를 만들고, 이를 이용하여 TIN과 GRID 데이터 구조 기반의 수치지형모델을 생성하여 지형분석에 관한 연구를 수행하였다. 다음 그림 7은 본 연구의 진행 및 세부 연구사항을 단계별로 나타낸 흐름도이다.

4.1 실험대상지 선정 및 데이터 입력

본 연구에서는 충북 청원군 부강면 금호리 일대를 실험 대상지로 선정하고 축척 1:5,000의 지형도 4개 도엽으로부터 등고선 데이터를 트래이싱하여 스캐너를 통해 자동입력하고 이미지 파일인 .rle로 저장하였다. 스캐너는 HP기종의 Scan plus 800K를 이용하였으며 스

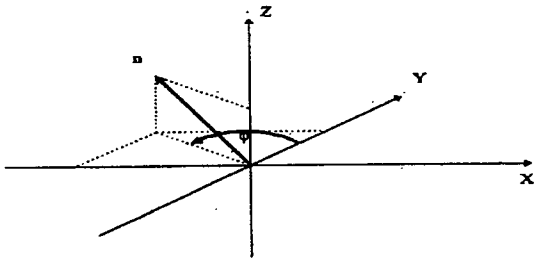

그림 5. DTM으로부터 경사방위각 계산

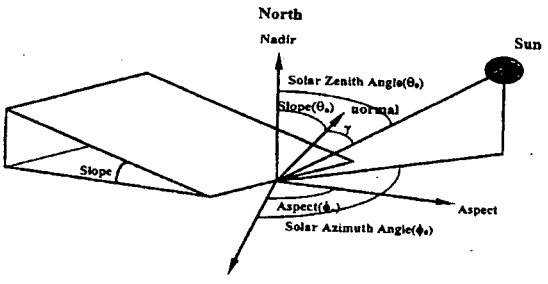

그림 6. DTM으로부터 음영기복의 계산

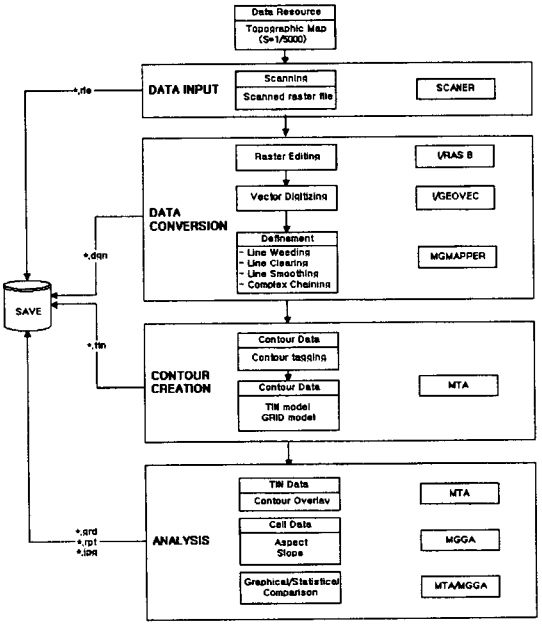

그림 7. 본 연구의 단계별 진행절차

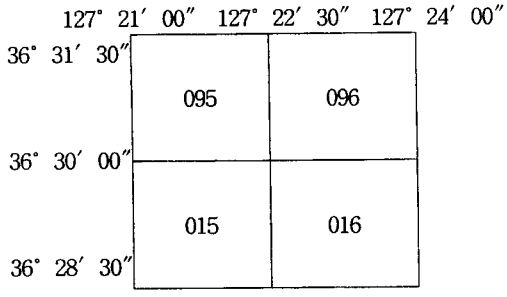

그림 8. 연구대상지역의 경위도 좌표와 도엽번호

캐닝 소프트웨어는 HP Deskscan II를 이용하였다. 다음 그림 8은 실험대상지역의 경위도 좌표와 도엽번호를 보여준다.

4.2 데이터의 처리 및 분석

입력단계에서 자동 입력한 이미지 파일을 I/RAS B 모듈에서 읽어들여 수정하고 와핑단계를 통해 이미지 파일에 실세계 좌표를 매칭하는 지리참조를 수행하였으며 I/GEOVEC 모듈에서 노드 간격, 등고선간의 최소 간격, 버틱스의 필터링 등 전처리과정을 통해 선 추적 방식에 의한 벡터화 과정을 수행하여 벡터 파일로 변환하여 레이어(feature)를 생성 .dgn 파일로 저장하였다.

MGMAPPER 모듈에서 등고선 레이어를 읽어들여 line weeding, line clearing, line smoothing, complex chaining과정 등을 실행하여 오류 노드와 오류 버틱스를 수정하였다.

MTA 모듈을 실행하여 전 단계에서 .dgn 파일로 저장한 등고선 레이어에 tagging과정을 통해 등고선의 속성 Z값을 입력하였다. 그림 9는 본 연구에서 제작한 수치지도이다.

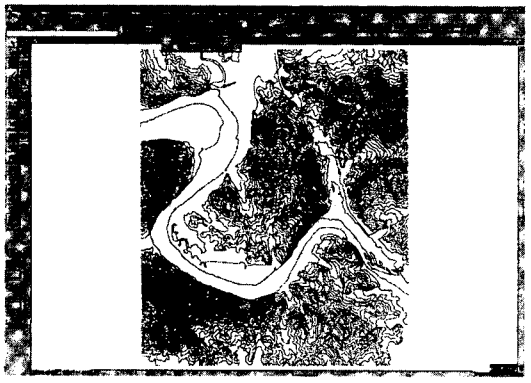

그림 9. 연구지역의 수치지도

등고선을 기반으로 TIN을 구성함에 있어 지성선을 고려하지 않은 경우와 고려한 경우 2가지 경우를 실행하여 TIN 기반의 DTM을 생성하였다. 생성한 DTM으로부터 등고선을 재생성하여 입력등고선 데이터와 중첩 비교를 수행한 결과 지형의 기복이 심한 지역에서는 지성선을 고려하지 않은 경우 재생성 등고선은 단순화하는 경향을 보임으로서 입력 등고선과 차이가 나타났다 그러나 지성선을 고려한 경우에는 입력등고선과 거의 같은 결과를 가져왔다(그림 10, 11.).

TIN의 구성에서와 마찬가지로 GRID 구성에 있어서도 등고선을 기반으로 지성선을 고려하지 않은 경우와 고려한 경우에 대해 격자 크기를 5×5 m, 10×10 m,

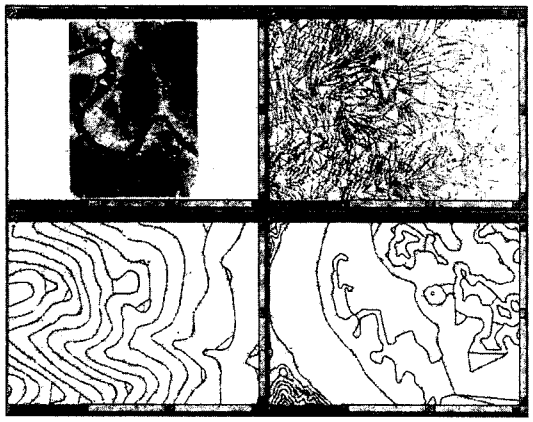

그림 10. TIN기반 DTM 및 등고선 중첩(지성선을 고려하지 않은 경우)

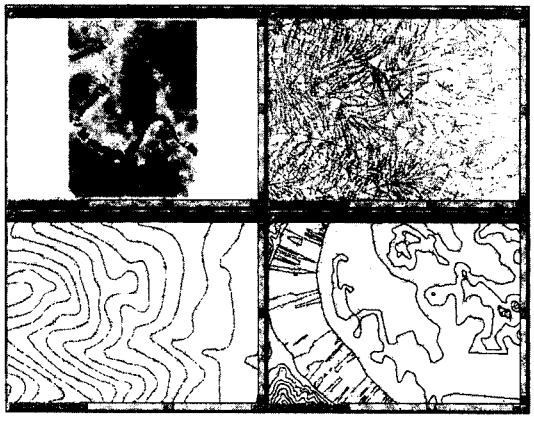

그림 11. TIN기반 DTM 및 등고선 중첩(지성선을 고려한 경우)

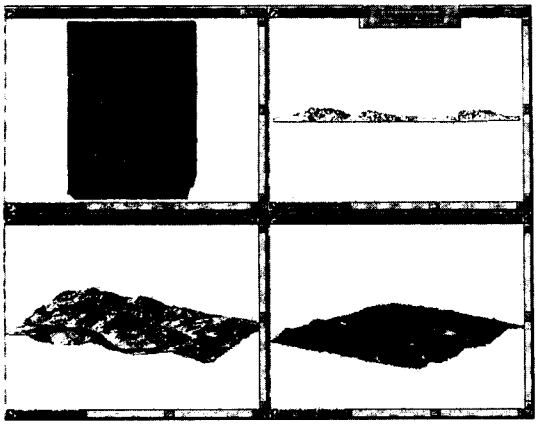

그림 12. GRID기반 DTM(지성선을 고려하지 않은 경우)

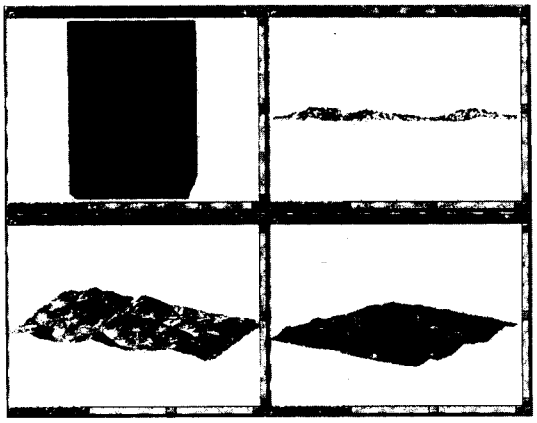

그림 13. GRID기반 DTM(지성선을 고려한 경우)

15×15 m, 30×30 m, 45×45 m, 60×60 m로 하여 grid기반의 DTM을 생성하였다.

그리고 각각의 격자 크기별로 등고선을 재생성하고 중첩 비교를 수행하였으며 평균표고, 실행시간, 저장파일의 크기를 비교 · 분석하고 각각의 격자 크기에 대해 DTM을 이용한 세부 지형분석의 방법으로서 사면경사도와 경사방위도를 생성하여 비교 · 분석하였다.

TIN과 GRID 기반의 DTM을 생성하여 평균표고, 실행시간, 저장파일 크기를 분석한 결과 다음 그림 16-18과 같이 나타났다.

TIN기반의 DTM생성에 있어 지성선을 고려한 경우 평균표고가 107.066 m로 나타났고 고려하지 않은 경우 99.971 m로 나타났다. 이 결과는 지성선을 고려하지 않은 경우 등고선으로부터 입력된 점의 수가 10,558개인 반면 지성선을 고려한 경우는 지형 특징에 대한 5,117개의 점

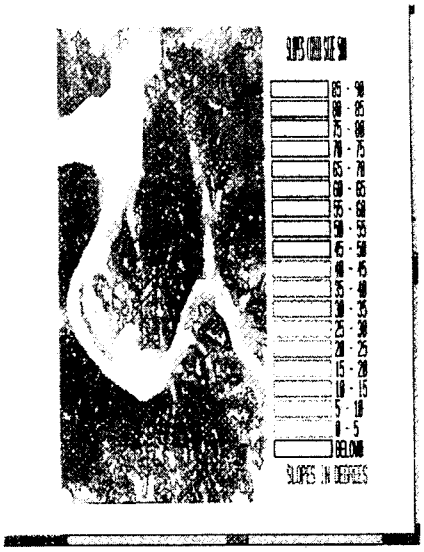

그림 14. 사면경사도(5×5m grid)

그림 15. 경사방위도(5×5m grid)

이 추가되므로 등고선 중첩비교에서도 알 수 있듯이 지형의 기복을 보다 정교하게 표현할 수 있음을 보여준다.

또한 실행시간을 비교한 결과 지성선을 고려한 경우 129분(min), 고려하지 않은 경우 66분(min)이 소요되었다. 이 결과는 평균표고 분석의 결과에 부응하는 결과로써 입력된 데이터 점의 수뿐만 아니라 tin 생성시 지성선을 고려한 경우 25,764개의 삼각형이 생성되고 124개의 삼각형이 제거된 반면 지성선을 고려하지 않은 경우는 20,643개의 삼각형이 생성되고 107개의 삼

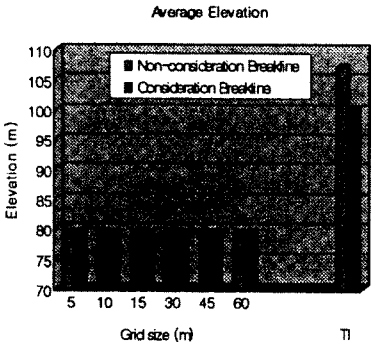

그림 16. 평균표고 비교

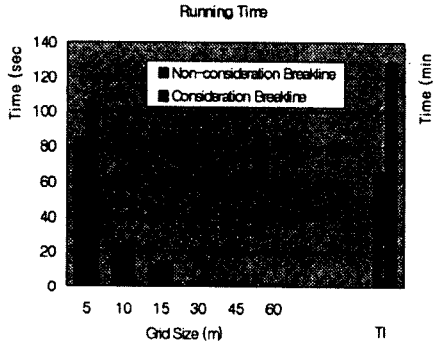

그림 17. 실행시간 비교

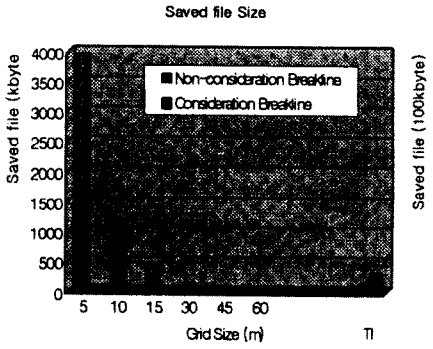

그림 18. 저장파일 크기 비교

각형이 제거됨으로 지성선을 고려하는 경우 지형특징을 처리하는데 더 많은 시간이 소요됨을 보여준다.

저장파일의 크기를 비교한 결과 지성선을 고려한 경우 263.96 Mbyte, 고려하지 않은 경우 131.08 Mbyte를 차지하는 것으로 나타났다. 따라서 저장파일의 크기 또한 선행 분석의 결과와 동일한 경향을 나타냈다.

GRID기반의 DTM생성시에는 격자 크기를 5×5 m, 10×10 m, 15×15 m, 30×30 m, 45×45 m, 60×60 m로 하여 격자 크기에 따른 변화를 분석하였다.

각각의 격자 크기별 평균표고를 비교한 결과 지성선을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우 모두 소수점 이하의 아주 작은 차이를 나타냈다. 그러나 실행시간을 비교한 결과 5×5 m 격자 크기의 경우 지성선을 고려했을 때 106초(sec), 고려하지 않았을 때 85초(sec)가 소요된 것에 비해 60×60 m의 경우 지성선을 고려했을 때 2초(sec), 고려하지 않았을 때 2초(sec)가 소요되어 그리드 크기가 커질수록 소요시간은 매우 짧아지는 것으로 나타났다. 또한 그림 17로부터 알 수 있듯이 입력 등고선의 간격이 15 m인 것으로 비추어 볼 때 한 가지 주목할만한 사항은 격자 크기를 입력 등고선 간격의 2배 이상으로 하는 경우 소요시간이 현저하게 단축된다는 것이다.

저장 파일의 크기를 비교한 결과 5×5 m 격자 크기의 경우 3,915 kbyte의 저장공간을 차지하는 반면 60×60 m 격자 크기의 경우 30 kbyte를 차지하는 것으로 나타났다.

그리고 GRID 기반 DTM을 이용한 지형분석 방법으로서 사면경사각, 경사방위각을 계산한 결과 다음 그림 19, 20과 같이 나타났다.

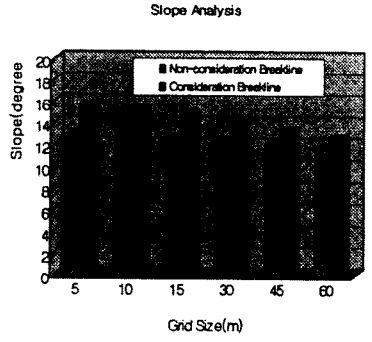

그림 19. 사면경사각 비교

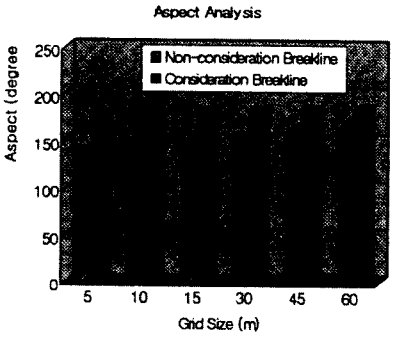

그림 20. 경사방위각 비교

사면경사도를 생성하고 격자 크기별로 사면경사를 계산한 결과 5×5 m 격자 크기의 경우 지성선을 고려했을 때 15.90152(degree), 고려하지 않았을 때 12.90152 (degree)로 나타났으며 60×60 m 격자 크기의 경우 지성선을 고려했을 때 12.65124(degree), 고려하지 않았을 때 11.6886(degree)으로 나타났다. 이 결과로부터 격자 크기가 커질수록 사면경사는 미소한 차이로 작아짐을 알 수 있고 격자 크기가 변화하더라도 지형이 이루는 전체적인 사면경사는 크게 변화하지 않음을 알 수 있다.

또한 경사방위도를 생성하고 격자 크기별로 경사방위각을 계산한 결과 5×5 m 격자 크기의 경우 지성선을 고려했을 때 180.53952(degree), 고려하지 않았을 때 140.18295(degree)로 나타났으며 60×60 m 격자 크기의 경우 지성선을 고려했을 때 185.77132(degree), 고려하지 않았을 때 164.27722(degree)로 나타났다. 이 결과는 사면경사와는 대조적 양상으로 나타났다. 특히 지성선을 고려한 경우는 큰 차이가 없으나 고려하지 않은 경우에는 격자 크기가 커질수록 경사방위각이 다소 커지는 것으로 나타났다.

7. 결 론

본 연구에서는 자동 디지타이징한 등고선 데이터를 이용하여 TIN과 GRID기반의 DTM을 생성함에 있어 지성선 고려 유무에 따른 평균표고, 실행시간, 저장파일의 크기, 등고선 중첩, 사면경사각, 경사방위각 등을 비교 · 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 스캐닝을 통해 원 데이터를 자동 입력하여 벡터라이징을 수행하는 경우 line smoothing 등과 같은 전처리 과정에 세심한 주의가 요구되며 또한 이 단계가 최종 DTM의 질에 많은 영향을 미침을 알 수 있었다.

2. 평균표고, 실행시간의 비교분석으로부터 TIN과 GRID기반의 DTM을 생성시에는 지형의 기복이 심할수록 지형특징인 지성선을 고려하는 것이 실제지형을 보다 정교하게 표현하는 방법임을 알 수 있었다.

3. 격자 크기를 증가시켜도 평균표고는 큰 변화를 나타내지 않았다. 그러나 격자 크기가 커지면 실행시간은 상당히 단축되고 저장공간 또한 매우 작아진다. 따라서 DTM을 응용분야에 보다 효율적으로 적용하기 위해서는 최적의 격자 크기를 결정하는 기법개발이 선결과제임을 알 수 있었다.

4. 사면경사각과 경사방위각 계산을 수행한 결과 대조적인 작은 변화를 나타냈다. 사면경사각은 격자 크기가 커질수록 작아지는 경향을 나타낸 반면 경사방위각은 격자 크기가 커질수록 커지는 경향을 나타냈다.

참고문헌

1. CEBRIAN, J.A., J.E.MOWER and D.M.MARK, Analysis and Display of Digital Elevation Models withina Quadtree-based Geographic Information System, Proceedings of AUTOCARTO 7 on DigitalRepresentation of Spatial Knowledge, pp. 55-64, 1985.
2. CHANG, K.T., and B.W.TSAI, The Effect of DEM Resolution on Slope and Aspect Mapping,Cartography and Geographic Information Systems, Vol. 18, No. 1, pp. 68-77, 1991.
3. CHEN, Z.T., and W.R.TOBLER, Quadtree Representation of Digital Terrain, Proceedings of AUTOCARTO LONDON, M.Blakemore(ed.), Vol. 1, pp. 475-484, 1986.
4. GOODCHILD, M.F,, and K.K.KEMP, TIN Model, In: Technical Issues In GIS, NCGIA CoreCurricullum, University of California, Santa Barbara, pp. 38-1 to 39-12, 1990.
5. MAKAROVIC, B., Composite sampling for DTMs, ITC Journal, 1977-3, pp, 406-433, 1977.
6. MAKAROVIC, B., Progressive sampling for digital terrain models, ITC Journal, 1873-3, pp. 397-416, 1973.
7. MARK, D.M., Concept of 'Data Structure' For Digital Terrain Models, American Society for Photogrammetry (ASP)-ACSM Proceedings of Digital Terrain Models (DTM) Symposium, St. Louis, pp. 24-31, 1976.
8. PETRIE, G., Photogrammetric methods of data acquisition for terrain modelling, In:Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering, ed. by G.Petrie and T. J.M.Kennie, Whittles Publishing, pp.26-48, 1990.
9. WEIBEL, R., and M.HELLER, Digital Terrain Modelling, In: Geographical Information Systems, Vol.1: Principles, (Ed), D.J.Maguire, M.F.Goodchild, and D.W. Rhind, Longman Scien. Publishing, pp. 269-297, 1991.
10. 신봉호, 양승용, 엄재구, 송왕재, "3차원 지형모델링의 정확도 향상에 관한 연구", 한국측지학회, 제14권 2호, pp. 151-157, 1996.
11. 신봉호, 양승용, 윤철규, "지형공간 정보체계에 있어서 효율적 수치지형모델 구축", 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 149-152, 1996.
12. 최병길, 조규전, "전자식 테키미터에 의한 수치지형도의 자동제작에 관한 연구", 한국측지학회, 제14권 2호, pp. 249-253, 1996.