

3차원 지형모델링의 정확도 향상에 관한 연구

A study on Accuracy Improvement of Three-Dimension Terrain Modelling

신봉호* · 양승용** · 엄재구 ** · 송왕재**

Shin, Bong-Ho · Yang, Sung-Yong · Eum, Jae-Gu · Song, Wang-Jae

요 旨

본 연구에서는 실험적으로 현존하는 수치지형모델 구축기법간의 정확도를 비교·분석하여 효율적인 수치지형 모델 구축방안을 제시하고, 프랙탈 기하학의 수학적 알고리즘을 응용, 터보 파스칼을 이용 3차원 프랙탈 지형 모델링 프로그램을 개발하여 지형공간정보시스템 기반의 프랙탈 지형 모델링 시스템을 구현하는 기초연구를 수행함에 목적이 있다. 연구의 결과 점 데이터와 선 데이터의 조합에 의해 불규칙삼각망을 생성하는 방법이 정확도 향상의 측면에서 가장 효율적인 방법으로 나타났으며, 프랙탈 기하학을 응용한 3-D 프랙탈 지형 모델링 시스템 개발은 프랙탈을 이용한 3차원 지형 모델링의 가능성을 제시했다는 측면에서 기초연구로서 소기의 성과를 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

This study, experimentally, aims at presenting the methodology to construct an efficient digital terrain by comparing and analyzing the accuracy among the existing Digital Terrain Models, develop 3-D fractal terrain modelling program by applying digital algorithm of fractal geometry and using turbo pascal, and lastly perform basic research on constructing GIS-based 3-D fractal terrain modelling system by integrating a PC-based GIS Package and the 3-D fractal terrain modelling program developed by this paper.

The results are as follows :

First, the method to produce TIN(Triangulated Irregular Network) by the combination of point data and line data was showed as an alternative to construct efficient Digital Terrain Model.

Second, developing GIS-based 3-D fractal terrain modelling system, applying fractal geometry is the basic research in developing the new terrain modelling method. also, this study presented the possibility of 3-D terrain modelling with the use of fractal.

1. 서 론

지형공간정보는 다음 세대의 생존을 위한 필수적인 요소인 지구환경의 감시와 유지에 중요한 역할을 담당한다. 지형공간정보는 지구상의 위치에 관련된 제 정보라 정의할 수 있으며 이는 인간생활과 밀접한 관련을 맺고 있지만 이를 획득하는 데에는 많은 비용과 시간을 필요로하며 또한 지형정보를 획득하였다 하더라도 이를 체계적·효율적으로 분석하고 이용하는 데에는 많은 어려움이 따른다. 따라서 보다 종합적이고 효율적인

정보관리 및 신속한 정보제공이 절실히 요구되고있다.

이러한 시대적 배경과 컴퓨터 기술의 발달과 함께 대두된 지형공간정보체계(Geo-spatial information system : GIS)는 공간체 또는 지리적 좌표와 관련된 데이터의 조작과 관련된 정보체계로서 데이터의 조사와 수집을 계획하는 것으로부터 의사결정과정의 정보를 추출하기 위해 데이터를 입력, 저장, 검색, 처리, 분석, 출력하는 정보체계이다.

지형공간정보체계에 있어서 지형정보처리의 주요한 구성요소로인 수치지형모델(Digital terrain model : DTM)은 실제계의 자연지형에 대한 3차원 모델링 기법으로 지형과 관련있는 현상을 모델, 분석, 디스플레이 하는 기법이다. 그러므로 효율적인 수치지형모델의 구

* 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 충북대학교 토목공학과 박사과정

측은 지형공간정보체계의 선결조건이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 실험적으로 현존하는 수치지형 모델 구축기법간의 정확도를 비교·분석하여 효율적인 수치지형모델 구축방안을 제시함과 함께 최근 컴퓨터 그래픽분야에서 자연현상을 표현하기 위해 시도되고 있는 프랙탈 기하학(Fractal geometry)의 알고리즘을 응용하여 지형공간정보체계 기반의 새로운 수치지형모델 구축기법 개발의 기초연구를 수행함에 그 목적이 있다.

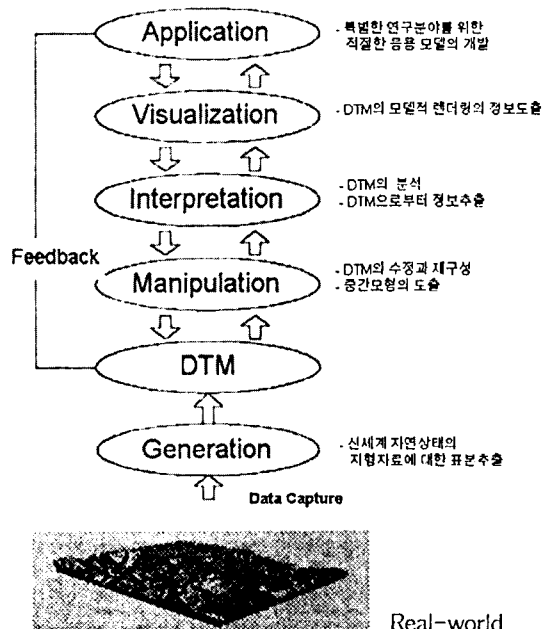
2. 수치지형모델과 프랙탈 기하학

2.1 수치지형모델

수치지형모델은 지형이 가지는 속성의 공간적인 분포들을 표현하기 위한 모델로서 1950년대부터 지구과학의 응용분야에 이용되어온 이래 지형공간정보 처리의 중요한 요소가 되어 왔으며 공학에서도 많은 응용분야를 위한 기반을 제공한 기법이다.

일반적으로 수치지형모델은 그림 1과 같은 단계로 구성되며 각 모델링 단계의 결과는 단계별로 one-way 처리하는 것이 아니라 각각의 단계에 있어서 상호관련되도록 feed back할 수 있어야 한다.

수치지형모델 구축을 위한 데이터 획득에 있어서 지



Real-world

그림 1. Main tasks of digital terrain modelling

형데이터는 무질서한 데이터요소를 형성하므로 원형데이터는 차후의 지형모델링 작업에 의해 다루어질 수 있도록 구성되어야 한다. 오늘날 수치지형모델의 절대다수가 2개의 데이터 구조 예를들면, 격자망(Grid)과 불규칙삼각망(Triangulated irregular network : TIN)중 1개의 데이터 구조를 따른다.

격자망은 연속적인 표면을 표현하는데 표본으로서 이용되는 규칙적인 공간을 갖는 점들로서 자료점 사이의 위상관계를 기록하는 행렬구조를 나타낸다(그림 2). 이 데이터구조는 수치컴퓨터의 저장구조를 반영하기 때문에 즉, 격자가 표고의 2차원 배열로 저장될수 있기 때문에 표고행렬의 취급이 간단하나 원형데이터가 규칙적 공간을 갖는 격자에 대해 보간될 때 유지될 수 없으며 기록이 심한 지형을 모델링하는 경우 정확도가 떨어진다. 따라서 과도한 수의 데이터가 요구된다.

반면, 불규칙삼각망 데이터 구조는 비중첩 삼각형들로 연결된 불규칙적으로 공간을 갖는 표본점들의 집합으로 소위 delaunay삼각형이 특별한 주목을 받고있다(그림 3). 이 데이터 구조는 표본점에서 정점과 함께 삼각형요소를 기반으로 하며 구조적요소 또한 데이터 구조에 쉽게 통합된다. 불규칙삼각망은 다양한 밀도의 데이터를 가지고 지형의 기록을 적절하게 반영할 수 있으며 원형데이터가 모델내에서 유지될 수 있다. 따라서 일정한 정확도의 수치지형모델 구축을 위해 격자망 데이터 구조에 비해 상대적으로 더욱 적은 점이 요구되고 데이터간의 위상관계가 명확하게 계산되고 기록되거나 구축하는데 비용이 많이 들고 불규칙삼각망을 처리하는 알고리즘이 격자망 알고리즘보다 훨씬 더 복잡하고 취급하기가 어렵다.

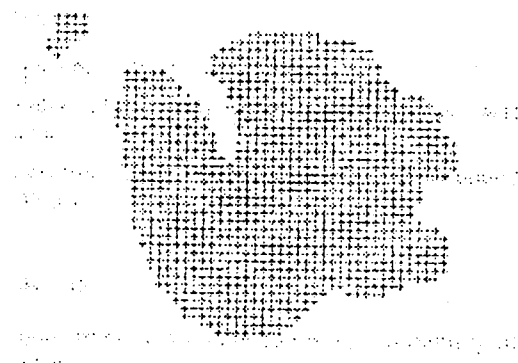


그림 2. Data structure of DTM(Grid)

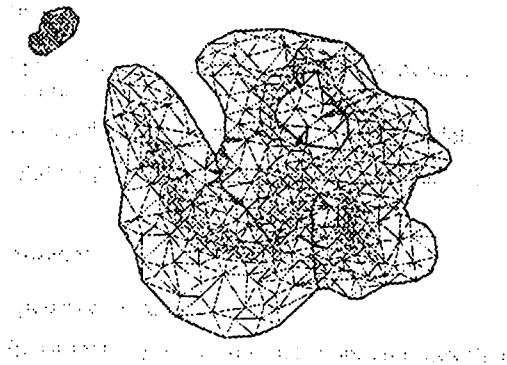


그림 3. Data structure of DTM(TIN)

2.2 프랙탈 기하학

일반적으로 현실세계에서 지형공간을 구성하고 있는 물체들을 인식하는데에는 선, 다각형, 원뿔, 구와 같은 유클리드 기하학의 기본적인 형태를 가지고 정수형 차원을 사용하고 있다. 그러나 Hausdorff besicovitch는 종래의 유클리드 기하학과는 다른 공간적 개념인 프랙탈 차원(fractional dimension)을 정의 하였으며, 1950년 프랑스의 수학자 Benoit mandelbrot는 자연현상들의 변화된 모양이 전단계의 모양과 닮은 꼴의 축소형으로 변화하고 있는 점에 착안하여 불규칙속의 규칙적 요소를 잘 표현할 수 있는 프랙탈 개념을 만들어 내고 프랙탈 기하학은 유클리드의 차원과 대조적으로 자연의 물체는 비정수형으로 구성되어 있음을 시사했다.

인간이 만들어낸 형상들은 부드럽고 연속적이며 구현하기 쉬우나 자연의 사물은 보다 복잡하며 세밀하다. 자연의 모습은 일면 혼란하고 제멋대로인 것 처럼 보이기도 하지만 그 불규칙성속에는 일정한 패턴이 숨어있다. 예를 들어 해안선은 만, 꽃, 반도들로 이루어져 있다고 할 수 있다. 그런데 해안선의 한 부분을 다시 확대하여 보면 그것은 다시 유사한 만, 꽃, 반도들로 구성된 작은 해안선인 것이다. 전체와 부분은 유사하지만 같지는 않다. 그리고 그 유사함은 확률적 속성을 지니고 있다. 따라서 해안선은 확률적으로 자기유사적(self-similar)이라 할 수 있다.

확률적인 프랙탈 표면에서 두지점간의 높이 차는 두 지점간의 프랙탈승수 제곱에 비례하는 평균제곱분산을 가진 Gauss확률변수로서 아래 식 2.1과 같이 나타낼 수 있다.

$$A \cdot [Z(x_1, y_1) - Z(x_2, y_2)]^2 = [(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2]^H \quad (2-1)$$

여기서, A : 평균

Z : (x, y) 지점의 표면의 높이

H : 0와 1사이의 프랙탈상수이다.

H 는 표면 거칠기를 결정하는 것으로 H 가 1에 가까우면 두점사이의 거리가 가까울 때 불규칙성은 매우 감소한다.

H 가 1/2~1사이에 있을 때 표면은 자연의 규칙성 및 불규칙성을 매우 잘 보여준다.

H 가 1/2일때는 표면의 두점 사이의 높이차는 그 전의 값과 무관하게 단지 두점 사이의 거리에만 비례하는 Gauss확률변수이다.

H 가 1/2보다 작으면 두점간의 거리에 반비례적으로 관계되어 표면은 자연적이라 할 수 없을 정도로 혼란스럽게 된다.

3. 시험 대상지역의 수치지형모델 구축 및 결과분석

3.1 수치지형모델 구축

3.1.1 지형공간정보 입력단계

본 연구에서는 수치지형모델 구축을 위한 시험 대상 지역으로 충북 청주시 흥덕구 개신동 일대를 선정하고 항공사진측량에 의해 제작된 축척 1:600의 지형도 19도엽을 기본 지형데이터로 이용하였으며 시스템 환경 및 세부 연구방법은 그림 4와 같다.

지형공간정보의 입력 및 수치화의 주된 공정수행은 주로 상용 GIS S/W인 Unix Arc/Info, PC Arc/Info와 AutoCAD의 입력모듈을 이용하였다. 지형도의 점, 선 데이터를 각 데이터별로 트레이싱한 후 점 데이터는 AutoCAD에서 도면별 범위를 설정한 후 디지털이저로 점 데이터를 입력, DXF파일로 변환하여 PC Arc/Info에서 import하고 또한, 실세계 TM좌표의 TIC을 설정한 empty coverage를 생성한 후 rubber sheeting원리에 의해 transform하였으며 속성정보를 입력하여 실세계 TM좌표를 가진 coverage를 생성하였다.

등고선과 같은 고밀도의 선형데이터는 scanning하여 Unix Arc/Info에서 register를 통해 실세계의 TM 좌표를 입력, TIC을 설정하고 grid파일로 변환·수정 후 vectorizing을 수행 vector파일로 변환하여 수정하였으며 수정된 파일을 PC Arc/Info에서 import하여

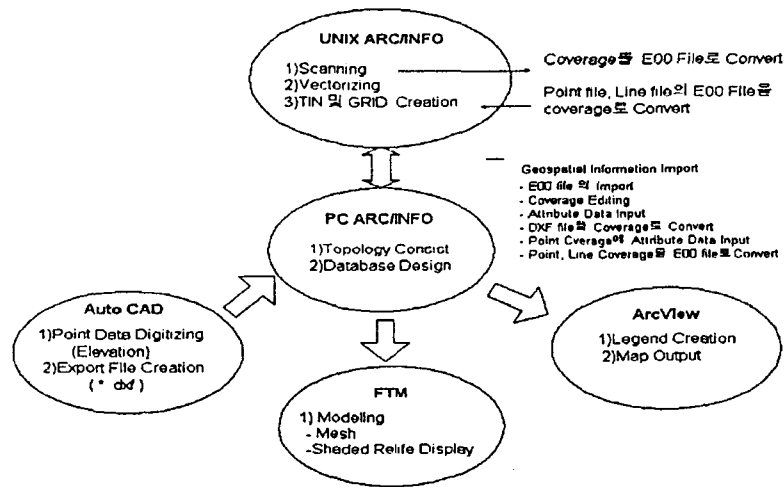


그림 4. System environments and detailed study procedure

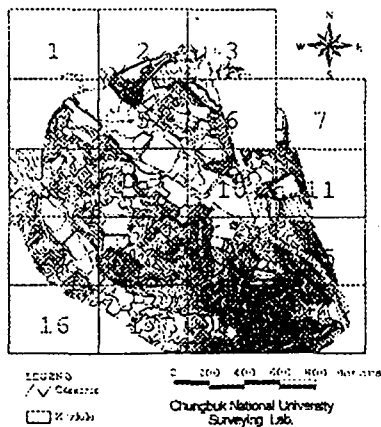


그림 5. Digital map(Line coverage)

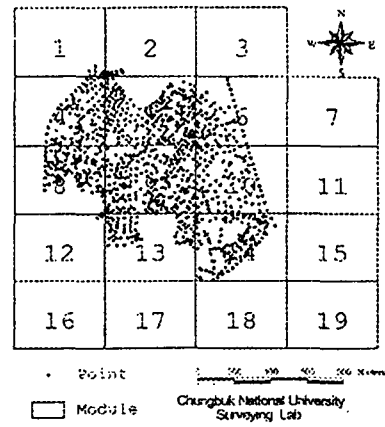


그림 6. Digital map(Point coverage)

Mapjoin한 후 위상관계(topology)를 구성하고 속성정보를 입력하여 coverage를 생성하고 ArcView에서 legend를 생성한 후 출력하였다(그림 5, 그림 6).

3.1.2 수치지형모델 구축단계

본 연구에서는 실험적으로 현존하는 수치지형모델 구축기법간의 정확도를 비교·분석하여 효율적인 수치지형모델 구축방안을 제시하고자 PC Arc/Info에서 생성한 점 데이터 파일과 선 데이터 파일을 UNIX Arc/Info의 TIN 모듈에서 import하여 점 데이터, 선 데이터, 점 데이터와 선 데이터의 조합에 의해 각각 불규칙삼각망을 생성하여 불규칙삼각망기반의 수치지형모델을 구축하였으며(그림 7), 불규칙삼각망 생성시의 Weed tolerance를 대상지역 X, Y축상의 장축방향길이

의 1:1,000로, Proximal tolerance를 0(Zero)로 하는 default값으로부터 Weed tolerance를 3가지 단계 즉 1 m, 2 m, 3 m로 하고 또한 Proximal tolerance를 3가지 단계 즉, 2 m, 3 m, 4 m로 하여 각각 불규칙삼각망을 생성하여 등고선도를 제작하고 중첩을 수행하여 비교·분석하였다.

또한 선형실험으로부터 점 데이터와 선 데이터의 조합에 의해 생성한 불규칙삼각망 기반의 수치지형모델이 정확도가 가장 양호한 결과를 가져왔다. 그러므로 동일한 데이터를 이용하여 TIN과 GRID에 의한 DTM구축의 정확도를 분석하고자 GRID 모듈에서 등고선도를 제작, 중첩을 수행하여 비교·분석하였다(그림 8).

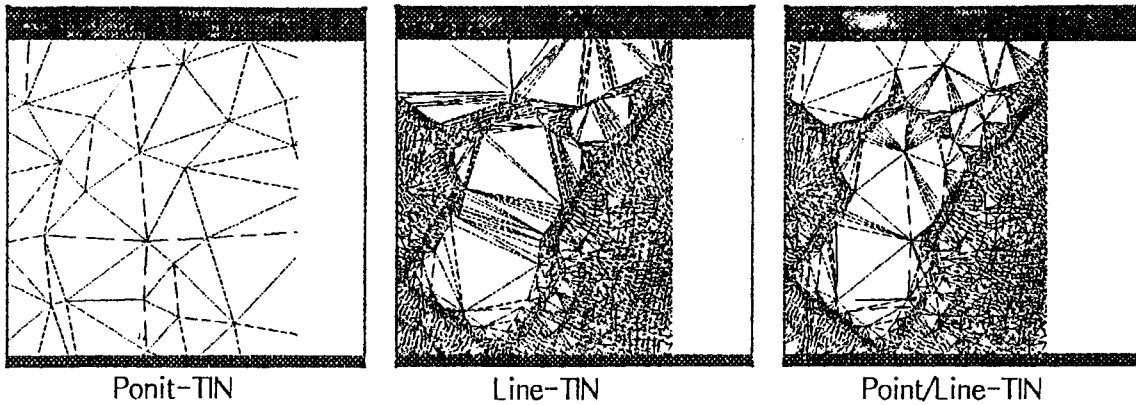


그림 7. Comparison of TIN

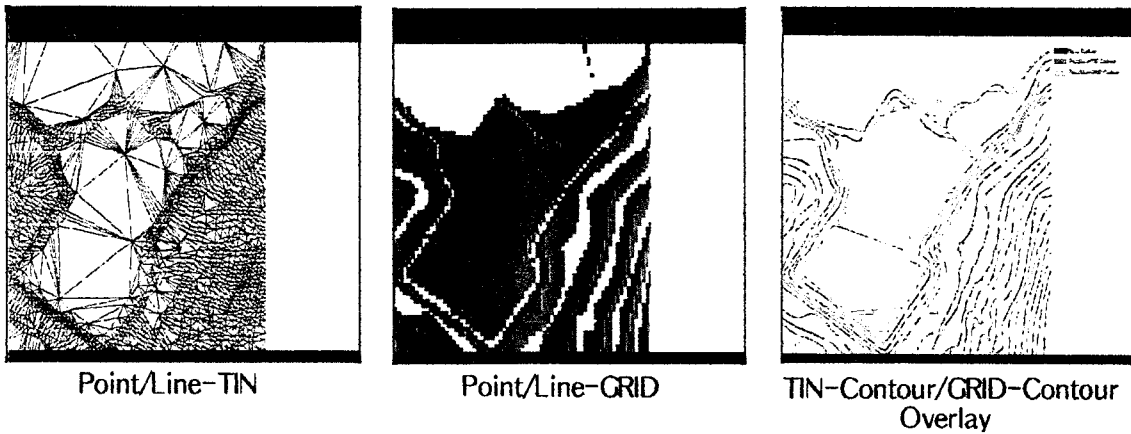


그림 8. Comparison of data structure

3.2 프랙탈기법에 의한 지형모델링

본 연구에서 터보 파스칼을 이용하여 개발한 GIS기반의 3-D 프랙탈 지형 모델링 프로그램은 크게 산의 높이를 발생시켜주는 프로그램과 스크린에 3차원 그래픽으로 디스플레이 시켜주는 프로그램으로 구성되었다.

산의 높이를 발생시켜주는 MOUNTAIN.PAS 프로그램은 처음에 가장 구석의 지점인 (0, 0), (size, 0), (0, size), (size, size)의 높이를 평균이 0, 분산이 1인 Gauss 확률 변수값에 stepfactor의 값을 곱해준 값을 더함으로써 결정한다.

처음에 step의 값은 size와 같으며, 다음 단계로 위에서 결정된 네모서리 지점의 중간지점들의 높이를 이웃한 점들의 높이의 평균에 위에서와 마찬가지로 Gauss × stepfactor 2H를 더해 주어 각각 결정한다. 이러한 과정을 step=0 이 될 때 까지 계속하면 모든 점들의 높이를 구할

수 있다는 기본 알고리즘을 응용하여 PC Arc/Info에서 구축한 속성정보의 DBF 파일을 TXT파일로 변환한 후, import하여 지형데이터를 open할 수 있게 개발되었다.

스크린에 3차원 그래픽으로 디스플레이시켜주는 3D.PAS 프로그램은 MOUNTAIN.PAS에서 발생한 데이터로 3차원 그래픽을 그려주는 프로그램으로써 그물(mesh)형태로 산의 모습을 보여주는 프로시저와 음영기법을 도입하여 태양의 위치에 따라 산에 그림 자가 그려지게 하는 프로시저로써 구성되었다.

그물형태로 산을 그려주는 과정은 X, Y, Z값을 Proj 프로시저에 넘겨 스크린상의 sx, sy값으로 변환시킨 뒤, 사각형 형태의 테두리를 그려주고, 은선제거효과를 위해서 Fillpoly 프로시저를 사용해 사각형의 영역을 삭제했다.

프로그램에서 Rangefind 프로시저와 Dajusty 변수는 스크린상에 그림 이 적절히 위치하도록 하는 역할을 한

다. 또한 음영루틴의 프로시저가 실행되면, 프로그램은 태양고도의 각도와 방위각을 묻는다. 이때, 0°와 180° 사이의 값을 입력해주면, 프로그램은 태양의 단위벡터

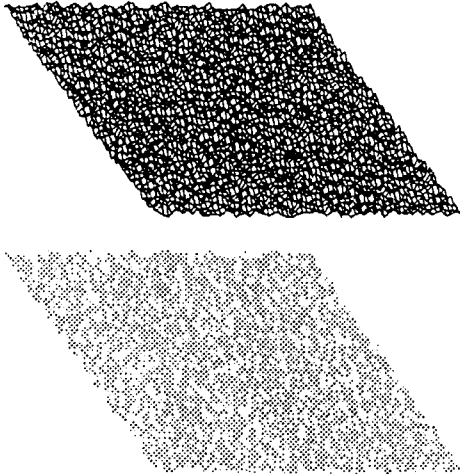


그림 9. Fractal terrain model and shaded relief display(H=0.7)

표 1. Data resource comparison

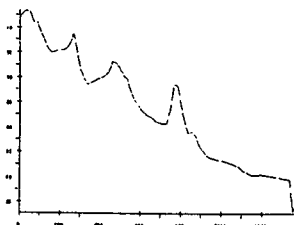
Data Resource	Point	Line	Point/Line
Point	1058개		1058개
Arc	7719개	7719개	

표 2. Run-time comparison

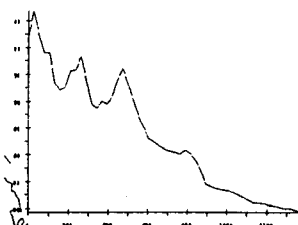
Data Resource	Point	Line	Point/Line
Run-Time	12'	3' 53'	3' 47'

표 3. File size comparison

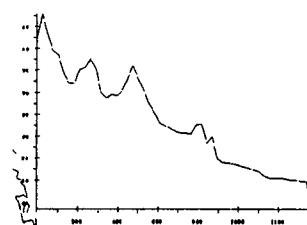
Data Structure	TIN			GRID
Data Resource	Point	Line	Point/Line	Point/Line
File Size	71,968 Byte	10,972,500 Byte	11,043,760 Byte	3,468,738 Byte



Point-TIN Profile



Line-TIN Profile



Point/Line-TIN Profile

표 4. Profile comparison

를 계산하여서 이 벡터와 표면의 직각단위벡터와의 Dot product를 계산하여 그 표면이 태양과 어느 만큼의 각도로 경사졌는지를 알아낸다. 그리고 이값에 따라 적당한 음영을 주면 그 표면의 질기가 결정된다.

다음 그림 9는 본 연구에서 구축한 GIS기반의 3-D Fractal terrain modelling 시스템을 실행하여 획득한 결과물로서 프랙탈상수(H=0.7)의 적용에 따른 Fractal terrain model과 음영기복도이다.

3.3 결과분석

본 연구에서는 현존하는 수치지형모델 구축기법간의 정확도를 비교·분석하여 효율적인 수치지형모델의 구축방안을 제시하고자 다음과 같은 분석을 수행하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 실험적으로 현존하는 수치지형모델 구축기법간의 정확도를 비교·분석하여 효율적인 수치지형모델 구축방안을 제시하고, GIS기반의 3-D 프랙탈 지형 모델링(fractal terrain modelling) 시스템을 구현하는 기초연구를 수행함에 그 목적을 둔 연구로서 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 점 데이터를 이용하여 불규칙삼각망을 구성하는 것이 시간적 측면에서 월등히 양호한 결과를 가져왔다. 그러나 정밀도는 데이터 밀도에 의해 크게 좌우되었다.
2. 선 데이터를 이용하여 불규칙삼각망을 구성할 때에는 Proximal tolerance와 Weed tolerance의 값을 높여

중에 의해서 불규칙삼각망의 생성속도가 향상되었다.

3. 점 데이터와 선 데이터의 조합에 의해 불규칙삼각망을 생성하는 방법이 정확도 향상의 측면에서 가장 효율적인 구축방안으로 나타났다.

4. 프랙탈 기하학을 응용한 GIS기반의 3-D 프랙탈 지형 모델링 시스템 개발은 새로운 지형모델링기법 개발의 기초적 연구로써 기존의 상용 GIS S/W와의 비교·분석을 통해 프랙탈을 이용한 3차원 모델링의 가능성을 제시했다는 측면에서 기초연구로서 소기의 성과를 얻었다.

3-D 지형 모델링에 있어서 프랙탈의 적용은 아직 초기 단계에 머무르고 있지만 자연현상을 표현함에 있어 향후, 더욱 향상된 인터페이스 개발과 같은 세부연구가 수행된다면 지형공간정보체계의 3차원 지형모델링 모듈로서 뿐만 아니라 컴퓨터 그래픽스, 범지구 위치결정 시스템을 이용한 3차원 수치지도제작등과 같은 분야에서도 확대 적용되어 상당한 효과를 가져올 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비 지원에 의하여 수행되었기에 한국학술진흥재단에 깊이 감사드립니다.

참고문헌

1. David J Maguire, Michael F Goodchild and David W

- Rhind, "Geographic Information Systems : Principles and Applications", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1991, pp.269-297.
2. Kumler, Mark Philip, "An Intensive Comparison of TINs and DEMs", University of California, Santa Barbara, 1992, pp.1-10.
3. 최병길, "지형공간정보시스템의 수치표고모델 구축에 관한 연구", 한양대학교, 1991, pp.1-29.
4. Tor Bernhardsen, "Geographic Information Systems", Viak IT and Norwegian Mapping Authority, Norway, 1992, pp.67-71.
5. 신봉호, 엄재구, 양승용, 송왕재, "지형정보체계를 응용한 토량에 관한 연구", 한국측지학 회, Vol.12, No.2, 1994, pp.53-58.
6. 신봉호, 김필수, 엄재구, 양승용, "GIS에 의한 수도시설의 유지관리", 대한토목학회, 학술 발표회논문집, 1995, pp.121-124.
7. Mandelbrot B B, "Self-affine fractal sets; parts I, II, and III", In : Pietronero L, Tosati E(eds.) Fractals in Physics, Elsevier North-Holland, Amsterdam, 1986, pp.3-28.
8. Musgrave F K, Kolb C E, Mace R S, "The synthesis and rendering of eroded fractal terrains", Computer Graphics(SIGGRAPH '89 Proceedings), 23(3), 1989, pp.41-50.
9. Goodchild, Michael F. and David M. Mark, "The fractal nature of geographic phenomena", Annals of the Association of American Geographers, 77(2), 1987, pp.265-278.