

# 3차원 지형모델링의 효율적 기법에 관한 연구 A Study on Efficient Technique of 3-D Terrain Modelling

윤철규\* · 신봉호\*\* · 양승룡\*\*\* · 엄재구\*\*\*

Yoon, Cheol-Gyu · Shin, Bong-Ho · Yang, Sung-Yong · Eum, Jae-Gu

## 요 旨

본 연구는 저밀도 임의지점의 지형정보를 이용하여 수치지형도를 제작하는데 있어 시간적, 경제적 측면을 포함하는 효율성과 정밀도 측면에서 각각의 수치지형도 제작기법을 비교·분석하여 향후 지형정보시스템의 구축에 있어서 저밀도의 제한된 지형정보를 이용하여 지형분석과 같은 많은 응용분야에 유용하게 이용될 수 있는 3차원 지형모델링의 효율적 기법을 제시하는 연구로써 다음과 같은 결론을 얻었다. 수치지형도를 제작함에 있어 A, B지역 모두 저밀도 임의지점의 지형정보를 이용하여 TIN기반의 지형모델링 기법으로 수치지형도를 제작하는 기법이 가장 신속하면서도 양호한 결과를 가져왔으며 TIN과 GRID기반의 지형모델링 기법으로 제작한 수치지형도를 시각적으로 분석한 결과 A, B지역 모두 거의 흡사한 결과를 가져왔으나 DXF 파일로 저장한 데이터의 크기는 TIN기반의 지형모델링 기법이 GRID기반보다 상대적으로 적은 저장용량을 차지하는 것으로 나타났다. 또한 Grid기반의 지형모델링 기법에 의해 제작한 수치지형도에 있어서 저밀도 임의지점의 원형 데이터와 Gridding방법에 의해 보간된 데이터의 표준편차는 A, B지역 모두 Radial basis function 보간기법이 가장 정밀한 보간 결과를 제시하였다.

## ABSTRACT

The purpose of this study is to aim at presenting efficient technique of 3-D Terrain Modelling through multilateral approach methods and to compare with raw data, using low-densed randomly located point data. The subject religion of this study are selected two sites and take into consideration for degree of freedom about low-densed randomly located point data. The result of this study by precision analysis of digital cartographic mapping using low-densed randomly located point data have shown that : First, making digital cartographic map, the technique of making it using low-desned randomly located point data by TIN-based results to good and fast runtime in A and B sites all together. Second, the visualization analysis results of digital cartographic map using TIN and GRID-based terrain modeling techniquis similar exacts A and B sites, but the terrain modeling techniquis by TIN-based are small data size than GRID-based with the data with the data size of saving with DXF files. Third, making digital catographic map using terrain modeling techniques by Grid-based, the standard errors of low-densed randomly located point data and interpolated data using gridding method have more good results by radial basis function interpolation techniques at A and B sites all together.

## 1. 서 론

종이지도는 원자료를 지도화하는 과정에서 정보가 양적으로 감소되고 또 인위적 분류과정을 거침으로써

정보의 내용이 왜곡될 수 있고, 또한 정량적이고 정성적이므로 주제도를 이용하여 특정한 정량정보를 추출하거나 분석하기 어려우며 비교적 짧은 시간에 넓은 지역에 걸쳐 발생하는 사회·경제적 현상과 자연환경의 변화를 시기 적절하게 지도화해야하는 오늘날에는 이와 같은 전통적인 지도제작은 적당하지 못하다.

그러므로 현대의 고도 정보산업사회에서는 컴퓨터산업의 발달 뿐만 아니라 이와 더불어 항공사진측량, 원

\*충북대학교 공학박사  
\*\*충북대학교 교수  
\*\*\*충북대학교 박사수료  
\*\*\*\*충북대학교 박사수료

격탐측, GPS등과 같은 첨단 측량기술의 발달이 급속하게 이루어짐에 따라 저가의 고성능 장비를 이용한 지도 제작시스템(mapping systems) 혹은 지형정보시스템(geographic information systems : GIS)의 도입을 통해 지도제작과정 전체에 대한 재검토가 용이해졌고 또한 제작과정의 개선을 통하여 지도를 보다 신속하고 저렴하게 제작할 수 있게 되었으며 3차원 지도나 입체지도와 같은 수작업으로 제작하기 어려운 지도 제작이 가능하게 되었다.

따라서 본 연구에서는 수치지도제작 시스템과 수치지도의 데이터 구조와 변환, 그리고 수치지형도 제작기법으로 GRID기반의 지형 모델링 기법과 TIN기반의 지형 모델링 기법 등에 대해 포괄적으로 고찰하고, 저밀도 임의지점의 지형정보를 이용하여 수치지형도를 제작하는데 있어 시간적, 경제적, 그리고 효율적 측면 및 정밀도 측면에서 각각의 제작기법을 비교·분석함으로써 향후 항공사진측량 및 지형정보시스템의 많은 응용 분야에서 유용하게 이용될 수 있는 수치지형도 제작기법을 제시하고자 함에 목적이 있다.

## 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 다각적인 접근방법으로 저밀도 임의지점에 대한 지형정보를 이용하여 지형정보시스템의 응용을 위한 수치지형도를 제작한 후 각각의 수치지형도 제작기법간의 효율성과 정밀도를 비교·분석하는 연구가 수행된다.

연구를 수행하기 위한 환경으로서 하드웨어는 CPU Pentium 133MHz, RAM 64MB, Video Memory 4MB, H.D.D 1.2GB, LAN Card등으로 구성된 PC 586 시스템과 워크스테이션 시스템 그리고 부가적 장비로서 Digitizer(12'×18'), Scanner(A0)등으로 구성하였으며, 소프트웨어는 Auto CAD, PC Arc/Info, ArcView, Unix Arc/Info, Surfer 및 정보의 상호 전달을 위해 LAN통신 프로그램을 사용했다.

연구의 수행방법으로는 크게 지형정보의 획득단계, 지형정보의 입력단계, 처리단계, 분석단계, 출력단계로 구성하여 수행되었다.

지형정보의 획득단계에서는 분석단계에서의 자유도를 고려한 비교·분석을 위해 평탄지와 환경사지의 2개 지역을 선정한 후 항공사진측량기법에 의해 제작된 축척 1:600의 지형도로부터 1m 간격의 line 데이터와 저밀도의 임의지점 데이터인 point 데이터를 분리·추출하고 트래이싱하여 연구 대상지역에 대한 지형정보를 추출하였다.

지형정보의 입력단계에서는 획득단계에서 추출한 1m 간격의 line 데이터는 스캐너(scanner) 및 Unix Arc/Info에서 수치화하여 입력하였으며, 저밀도의 point 데이터는 디지털라이저(digitizer)와 AutoCAD에서 수치화하여 입력했다. 그리고 수치화한 지형정보에 대해 PC Arc/Info에서 위상관계를 생성하고 데이터베이스를 구축했다.

지형정보의 처리단계에서는 입력단계에서 구축한 지형정보를 Unix Arc/Info에서 TIN기반의 기법과 GRID기반의 기법으로 수치지형도를 제작하고 AutoCAD의 .DXF file로 저장했다. 또한 Lattice기법으로 3차원 모델

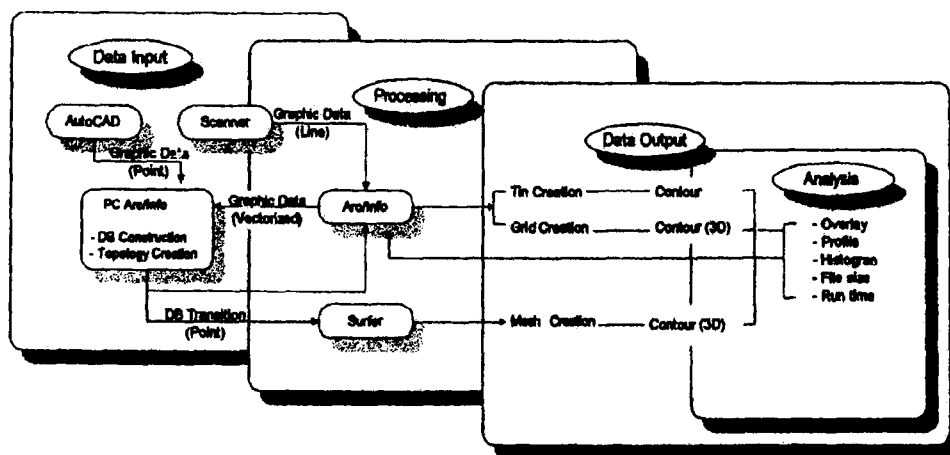


그림 1. System environment and detailed process by step in this study

을 생성하였으며, Surfer에서는 PC ARC/INFO에서 저밀도의 point 데이터에 대해 구축한 DB file을 불러(import)와서 Grid기반의 수치지형도를 제작하고 3차원 모델을 제작하였다.

지형정보의 분석단계에서는 처리단계에서 수행한 각각의 방법에 대해 Unix Arc/Info에서는 Overlay, Runtime, Profile, histogram, file size를 비교·분석하였고 Surfer에서는 Gridding 방법에 따른 표준편차를 비교·분석했다.

지형정보의 출력단계에서는 각 단계별 제작 및 생성 결과를 디스플레이의 캡처(capture) 및 저장 파일(file)을 graphic 또는 table의 형태로 출력을 수행하였다. 다음 그림 1은 연구 수행방법의 단계별 세부과정을 보여주는 흐름도이다.

### 3. 지형정보의 획득 및 입력

연구 대상지역은 충청북도 청주시 개신동 일대를 선정

하고 동일한 면적(206,832 m<sup>2</sup>)의 2개 지역을 환경사지를 A지역(TM coordinates : (240171,347302),(240668,347302), (240171,347719),(240668,347719))으로 평탄지를 B지역(TM coordinates : (240794,347861),(241211,347861), (240794,347444),(241211,347444))으로 선정하여 결과에 대한 신뢰도를 고려하였다.

연구 대상지역에 대한 지형정보는 초점거리 152.54 mm의 RMKA Camera와 23×23 cm의 필름을 이용하여 촬영고도 2,400ft 상공에서 촬영한 항공사진을 항공사진축척 1/6,000로, 모델축척 1/3,000, 도화축척 1/600로 wild A10 도화기를 이용하여 제작한 지형도를 기본 지형도로 하여 지형정보를 획득하였다.

지형 데이터의 수치화 과정에 있어서 주된 공정은 주로 상용 GIS S/W인 PC-Arc/Info의 입력모듈을 이용하였으며, S/W에 의하여 구현된 위상데이터에 공간데이터의 속성정보를 키보드에 의해 입력함으로써 수치지도의 단위인 주제별 커버리지를 완성하였다.

세부적인 지형정보의 입력은 기본도로 선택한 축척

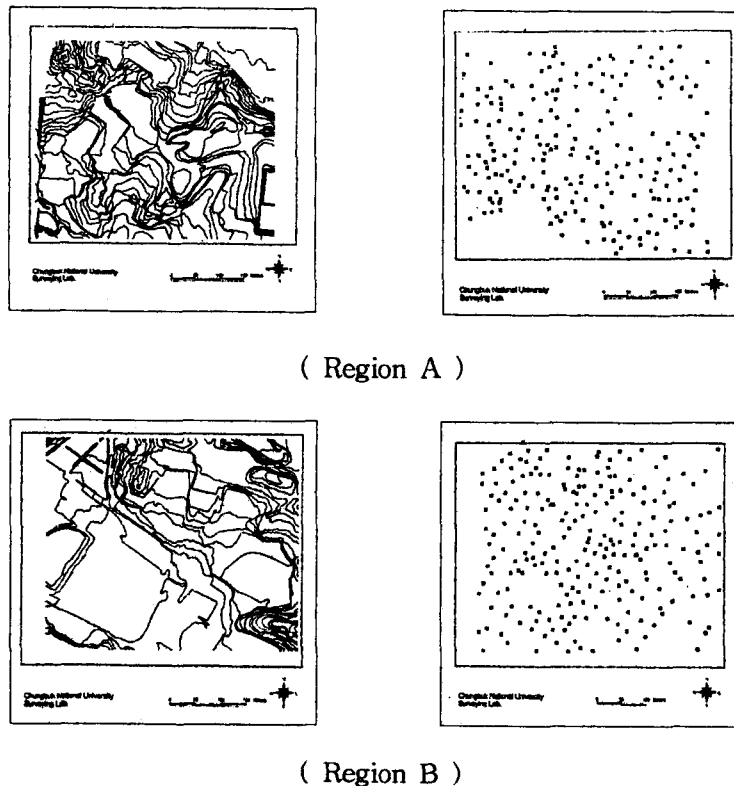


그림 2. Raw digital cartographic map of study region A, B

1/600의 지형도로부터 point, line 데이터를 각 데이터별로 트레이싱하여 입력하였다.

point 데이터는 Auto CAD에서 도면범위를 설정, 디지털타이저에 의하여 입력하고 .DXF 파일로 저장하였다.

PC-Arc/Info에서 실세계 TM좌표의 TIC을 설정한 빈 커버리지(empty coverage)를 생성한 후 Auto CAD에서 저장한 DXF 파일을 불러와서(import) 변환하고 속성정보를 입력하여 실세계 TM좌표를 가진 point 커버리지를 생성하였다.

line 데이터는 트레이싱한 도면을 스캐닝하여 그래픽 파일(.TIFF)을 생성한 후 Unix PC-Arc/Info에서 등록(register)하여 Grid 파일로 저장하고 부분 수정하였으며 벡터라이징을 수행 벡터 파일로 변환한 후 재수정 하였다. 수정된 벡터 파일을 PC-Arc/Info에 불러와서 위상관계(topology)를 생성하고 속성정보를 입력하여 최종의 line 커버리지를 생성하였다.

그림 2는 point 커버리지와 line 커버리지를 Arc/view에서 출력한 대상지역의 수치지도이다.

#### 4. 지형정보의 처리 및 분석

지형정보의 처리 및 분석단계에서는 저밀도 임의 지점의 지형정보를 이용한 수치지형도 제작의 정밀도 및 효율성을 분석하고자 입력단계에서 A지역과 B지역에 대해 구축한 Point 데이터와 Line 데이터를 이용하여 다각적인 접근방법으로 연구를 수행하고 비교·분석하였다.

Unix 기반의 Arc/Info 와 Dos 및 Windows 기반의 PC-Arc/Info 사이의 지형정보 전달은 이종 시스템간의 정보전달을 실현하는 LAN에 의해 지형정보를 상호 전달하여 처리하였다.

실험에 있어 GRID의 Resolution은 1m×1m, TIN의 Proximal tolerance와 Weed tolerance는 1m이하로 설정하였으며 결과에 대한 평가는 Point 데이터와 Line 데이터의 조합에 의해 생성된 결과를 기준으로 설정했다.

결과에 대한 세부 평가항목의 범위는 CPU Runtime, 저장 파일의 크기, 지역별 데이터의 분포 히스토그램, 임의 단면에 대한 단면도, Gridding 기법에 따른 표준편차, 그리고 수치지형도의 중첩분석 및 3차원 모델에 대한 시각적 분석으로 설정했다.

따라서 평가기준이 되는 point 데이터와 line 데이터

표 1. CPU Runtime comparison

		(Unit : sec)	
Method	Region	A	B
	P/L-T-C		35
P/L-G-C		59	51
P-T-C		14	4
P-G-C		28	15

P/L-T-C: Contouring by TIN using Point and Line Data

P/L-G-C: Contouring by GRID using Point and Line Data

P-T-C: Contouring by TIN using Point Data

P-G-C: Contouring by GRID using Point Data

의 조합에 의해 아래의 작업 수행단계와 같이 수행하여 각 단계별 세부 평가항목에 대한 데이터를 획득하였으며, 저밀도 임의 지점의 지형정보인 point 데이터를 이용한 작업수행을 같은 방법으로 수행하고 결과에 대해 분석하였다.

#### 4.1 CPU Runtime 측정

Arc/Info에서 제공되는 AML을 이용 프로그래밍하여 각각의 데이터원과 자료기반에 따른 수치지형도 제작에 있어서 각 단계별로 CPU Runtime을 측정된 결과 다음 표 1과 같이 나타났다. 표 1은 수치지형도 제작방법별 CPU Runtime을 측정된 결과의 비교이다.

실험결과 저밀도 임의 지점 지형데이터를 이용하여 TIN기반으로 수치지형도를 제작하는 방법이 A지역에서는 14 sec, B지역에서는 4 sec로 비교대상의 방법들보다 신속하게 제작됨을 알 수 있었다.

#### 4.2 TIN 기반의 수치지형도 제작

A지역과 B지역에 대해 저밀도 임의지점 지형 데이터인 point 데이터는 point 데이터와 line 데이터의 조합에 의한 지형데이터를 이용하여 TIN기반의 기법으로 수치지형도를 제작하고 저장 파일의 포맷은 국립지리원의 수치지도 작성규칙에 따라 AutoCAD의 DXF파일로 저장한 결과 다음과 같이 나타났다.

그림 3으로부터 A지역과 B지역 모두 point 데이터와 line 데이터의 조합에 의해 수치지형도를 제작함이 보다 정밀함을 알 수 있으나 point 데이터를 이용하여 수치지형도를 제작하여도 전체적인 지형의 형태는 유사함을 알 수 있다.

그림 3은 A지역, B지역에 대해 데이터원 별로 TIN

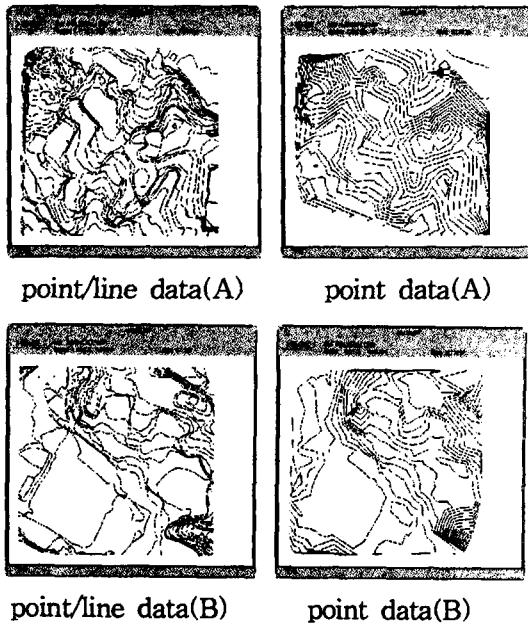


그림 3. Digital cartographic map by TIN in region A, B

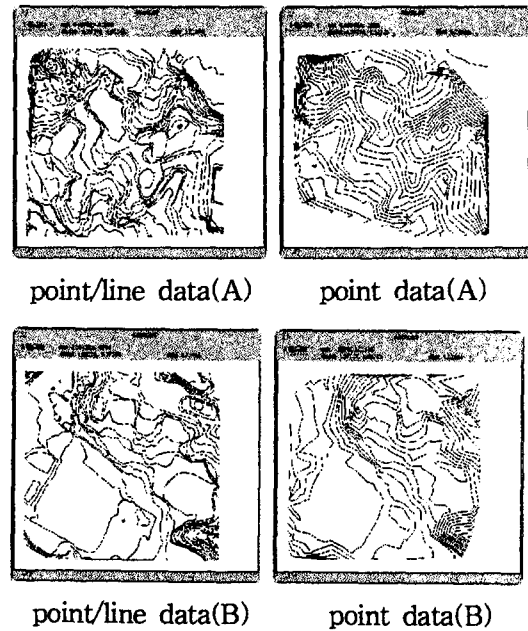


그림 4. Digital cartographic map by GRID in region A, B

기반에 의해 제작한 수치지형도를 보여준다.

#### 4.3 GRID 기반의 수치지형도 제작

지형 데이터원 별로 GRID기반의 기법으로 1m×1m의 GRID를 생성하여 수치지형도를 제작하여 분석한 결과 그림 4에서 보여주는바와 같이 TIN기반의 기법으로 수치지형도를 제작한 결과와 마찬가지로 point 데이터를 이용한 방법이 수치지형도의 제작에 있어 거칠기(rough)는 하나, 전체적인 지형의 형태를 유지함을 알 수 있었다.

또한, TIN기반으로 제작한 수치지형도와 GRID기반으로 제작한 수치지형도를 DXF파일로 저장한 결과 각각의 파일 크기는 표 2와 같이 나타났다.

표 2로부터 저장 파일의 size는 TIN기반으로 제작한 수치지형도가 A지역의 경우 69,862 Byte, B지역의 경우 48,256 Byte로 비교대상의 방법들보다 적은 공간에 저장됨을 알 수 있었다.

#### 4.4 표고 데이터의 분포 분석

대상지역에 대한 자료기반별 표고 데이터의 분포에 대하여 히스토그램으로 분석한 결과 다음 그림 5와 같이 A지역, B지역 모두 point 데이터와 line 데이터의 조합에 의한 데이터원이 point 데이터만을 이용한 경우에

표 2. Size comparison fo saved file

(Unit : byte)

Method	Region	
	A	B
P/L-T-C	1,080,952	762,415
P/L-G-C	4,656,621	3,119,360
P-T-C	69,862	48,256
P-G-C	4,462,114	2,972,661

P/L-T-C: Contouring by TIN using Point and Line Data

P/L-G-C: Contouring by GRID using Point and Line Data

P-T-C: Contouring by TIN using Point Data

P-G-C: Contouring by GRID using Point Data

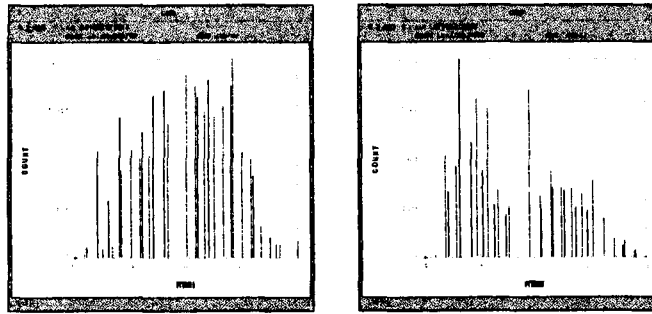
비해 표고가 보다 높음을 보이고 있으나 두지형 모두 표고의 분포가 일정한 패턴으로 분포함을 보여주고 있다.

#### 4.5 3차원 모델 생성

가시화 분석을 위해 A지역과 B지역에 대해 Arc/Info에서 데이터원 별로 Lattice기법을 이용하여 3차원 모델을 생성한 후 결과를 시각적으로 명확하게 하기 위해 음영 기록도를 제작한 결과 그림 6과 같이 나타났다.

#### 4.6 Gridding 방법별 수치지형도 제작

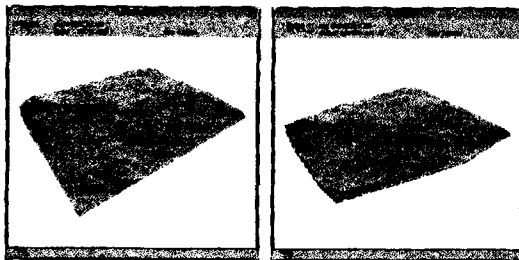
Grid기반으로 수치지형도를 제작함에 있어 Gridding



Region A

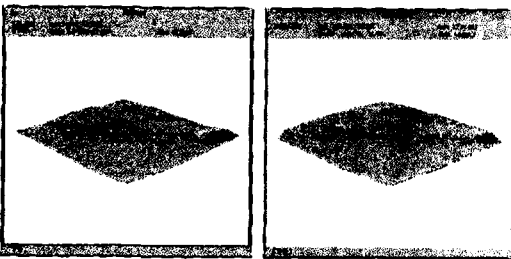
Region B

그림 5. Histogram of elevation data distribution in region A, B



point/line data(A)

point data(A)



point/line data(B)

point data(B)

그림 6. Shaded relief display in region A, B

방법별로 수치지형도를 제작한 결과는 비교 방법들에 비해 Radial basis function에 의해 Gridding하여 수치지형도로 제작함이 원지도 데이터와 가장 유사하게 제작됨을 알 수 있었으며 inverse distance to a power와 shepard's method는 적합하지 않은 것으로 나타났다.

또한 Point 데이터의 원데이터와 Gridding 방법에 의해 보간된 데이터의 표준편차를 산정한 결과 표 3과 같은 결과를 가져왔다.

표준편차의 분석은 Radial basis function에 의한 방법이 A지역의 경우 0.1304527 m, B지역의 경우 0.0856403 m로 표준편차가 가장 작게 나타났다.

표 3. Comparison of standard errors by gridding methods (Unit : m)

Gridding methods	Region	
	A	B
I	0.3196763	0.2131428
K	0.2575872	0.1773874
M	0.2788013	0.2099273
R	0.1304527	0.0856403
S	0.4110812	0.2757823
T	0.2980534	0.1949998

I : Inverse Distance to a power

K : Kriging

M : Minimum Curvature

R : Radial basis function

S : Shepard's Method

T : Triangulation w/Linear Interpolation

## 5. 결 론

본 연구는 지형정보시스템의 구축에 있어서 저밀도 임의지점의 지형정보와 같은 제한된 지형정보를 이용하여 지형분석과 같은 많은 응용분야에 유용하게 이용될 수 있는 3차원 지형모델링의 효율적 기법을 제시하는 연구로써 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 수치지형도를 제작함에 있어 A, B지역 모두 저밀도 임의지점의 지형정보를 이용하여 TIN기반의 지형모델링 기법으로 수치지형도를 제작하는 기법이 가장 신속하면서도 양호한 결과를 나타냈다.

2. TIN과 GRID기반의 지형모델링 기법으로 제작한 수치지형도를 시각적으로 분석한 결과 A, B지역 모두 거의 흡사한 결과를 가져왔으나 DXF 파일로 저장한

데이터의 크기는 TIN기반의 지형모델링 기법이 GRID기반보다 상대적으로 적은 저장용량을 차지하는 결과를 나타냈다.

3. Grid기반의 지형모델링 기법에 의해 제작한 수치 지형도에 있어서 저밀도 임의지점의 원형 데이터와 Gridding방법에 의해 보간된 데이터의 표준편차는 A, B지역 모두 Radial basis function 보간기법이 가장 정밀한 보간 결과를 제시하였다.

### 참고문헌

1. Bernhardsen, T., 1992, "Geographic Information Systems," Viakitand Norwegian Mapping Authority, pp. 23-40.
2. Petrie, G., and Kennie, T. J. M., 1991, "Terrain Modeling in Surveying and Civil Engineering," pp. 85-111.
3. 최병길, 1991, "지형정보시스템의 수치표고모델 구축에 관한 연구," 박사학위논문, 한양대학교.
4. Peucker, T. K., Fowler, R. J., Little, J. J., and Mark, D. D., 1978, "The Triangulated Irregular Network," Proceedings, DTM Symposium, pp. 516-540.
5. Peucker, T. K., and Chrisman, N., 1975, "Cartographic Data Structures," The American Cartographer, Vol. 2, No. 1, pp. 55-69.
6. 任伏處, 林井後治, 1992, "Vector-Raster의變換と Raster-Vector變換," 日本月刊測量, No. 3, pp. 54-64.
7. Lee, J., 1991, "Assessing the Existing Methods for TIN Extraction," Technical Papers, ACSM-ASPRS Annual Convention, Vol. 2, pp. 194-203.
8. 신봉호, 엄재구, 양승용, 송왕재, 1994, "지형정보체계를 응용한 토량에 관한 연구," 한국측지학회, Vol.12, No.2, pp. 53-58.
9. 신봉호, 양승용, 엄재구, 송왕재, 1996, "3차원 지형모델링의 정확도 향상에 관한 연구," 한국측지학회, Vol.14, No.2, pp.151-157.
10. Kumler, MarkPhilip, 1992, "An Intensive Comparison of TINs and DEMs," University of California, pp. 146-157.