

지형특징을 고려한 고정밀 3차원 공간분석기법 개발 및 그 적용에 관한 연구

A Study on the Development and Application of High-Precision 3-D Spatial Analysis Technique applied to Terrain Features

신봉호* · 양승룡** · 송왕재***

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

요 旨

지형공간정보체계에 있어서 실세계의 자연지형에 대한 모델링 기법은 지형정보처리의 주요한 구성요소이다. 본 연구는 지형공간정보체에서 불규칙삼각망을 이용하여 지형특징을 고려한 고정밀 3차원 공간분석기법 개발 및 그 적용기법에 관한 연구로서, 연구결과 완경사지와 급경사지의 경우 지성선을 고려한 모델 3의 경우가, 복잡지의 경우 peak를 고려한 모델 2의 경우가 상대적으로 비교모델에 비해 작은 RMSE를 보임으로써 비교모델 중 가장 정밀도가 양호함을 알 수 있었다. 그리고 경사도 평가방법과 surface 구축방법에 따른 최적의 루틴을 도출한 결과 완경사지의 경우 N_T, LSP_T, LSQ_T의 루틴, 급경사지의 경우 N_T의 루틴, 복잡지의 경우 LSQ_T의 루틴으로 공간분석을 수행하는 기법이 고정밀 3차원 공간분석을 위한 최적의 루틴으로 제시되었다.

ABSTRACT

The modelling technique on the terrain of real-world in geo-spatial information system is a primary element for geo-information processing. This paper is designed to make use of TIN in geo-spatial information system and study the development and application of high-precision 3-D spatial analysis technique applied to terrain features. According to this research, MODEL 3 applied to breakline in mild slope/steep slope and MODEL 2 applied to peak in complex region show relatively low RMSE. This consequence proves that these two models have high precision in comparison with other models. This study also finds out optimal routines in the estimation method of slope grade and in the construction method of surface. N_T, LSP_T and LSQ_T in mild slope, N_T in steep slope, and LSQ_T in complex region turn out to be the optimal routines for high-precision 3-D spatial analysis.

1. 서 론

지형공간정보체에서 실세계의 자연지형에 대한 모델링 기법은 지형정보 처리의 주요한 구성요소로서 지형 혹은 지형과 관련 있는 현상을 모델, 분석, 디스플레이하여 2D, 3D 지형공간분석을 수행하는 기법이다.

본 연구는 지형특징별 이산지형정보를 이용한 고정밀 3차원 공간분석기법을 제시함을 목적으로 지형의 기복이

심한 지역에서는 고도추출 지점의 수를 증가시키면서 보다 효과적으로 지형을 표현할 수 있는 불규칙삼각망을 이용하여 고정밀 지형모델링 시스템을 개발하고 그 적용 기법에 대해 다각적인 접근방법으로 결과를 비교·분석하였다.

세부적인 연구방법으로는 radial sweep algorithm을 이용하여 불규칙삼각망기반의 지형모델링 시스템을 개발하고 수치실험 I과 수치실험 II로 구분하여 수행하였다.

수치실험 I에서는 3개 지역 10개 모델로부터 고정밀의 모델을 도출하는 실험이 수행되었으며 수치실험 II에서는 수치실험 I에서 도출된 지형 모델을 기초 데이터로 하여 본 연구에서 개발한 시스템을 이용하여 지형모델

*충북대학교 공과대학 명예교수

**여주대학 토목과 조교수

***여주대학 토목과 겸임교수

구축시에 요구되는 5개의 경사도 평가방법, 2개의 surface 구축방법, 선형보간 방법에 따른 공간분석을 수행하여 대상지별 즉, 지형특징별로 고정밀의 공간분석을 수행할 수 있는 루틴을 도출하였다.

2. 수치실험 및 결과 분석

연구수행을 위한 하드웨어와 소프트웨어의 환경과 세 부적인 연구방법은 Fig. 1과 같이 수행하였다.

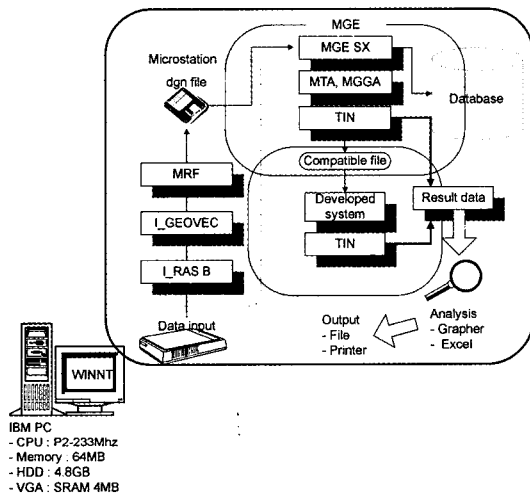


Fig. 1. Hardware and software environment for this study

2.1 지형정보의 획득

본 연구에서는 경기도 의왕시와 안양시를 포함하는 지역을 완경사지와 급경사지로 충북 청원군 부강면 일대를 복잡지로 하여 실험대상지를 선정하였다.

실험대상지는 완경사지, 급경사지, 복잡지 3개 지역 즉, 3개 지형특징에 대해 등고선으로부터 추출한 이산지형정보의 원시데이터 만을 고려한 경우(모델1, N), peak에 대한 지형정보를 추가로 고려한 경우(모델2, P), 지성선에 대한 지형정보를 추가로 고려한 경우(모델3, B), peak에 대한 지형정보와 지성선에 대한 지형정보 모두를 고려한 경우(모델4, B+P)로 구분하여 3개 지역 10개 모델에 대해 이산지형정보를 획득하고, 이러한 지형정보를 이용한 고정밀 3차원 공간분석기법 개발을 위한 세부적인 실험과정은 수치실험 I, 수치실험 II로 하여 다각적이고 심도있는 연구가 수행되었다. 연구 대상지역에 대한 세부적인 지형특징은 Table 1과 같다.

Table 1. Detailed terrain features in this study area

Study area	Terrain models	Point (number)	Minimum elevation (m)	Maximum elevation (m)	Average elevation (m)
Mild slope	N	5,055	80	210	114.4
	P	5,057	80	210	115
	B	9,460	78.4	210	115.2
	B+P	9,462	78.1	210	115.5
Steep slope	N	8,092	185	425	288.6
	P	8,095	185	428	288.3
	B	9,528	182.4	427.5	288.5
	B+P	9,532	182.4	428	288.4
Complex	N	10,558	20	300	87.770
	B	15,675	19.7	300	86.804

2.2 지형정보의 입력

지형정보의 입력과정은 지형정보 획득에서 저장한 이미지 파일을 I_RAS B모듈에서 읽어들이 수정하고 외평 단계를 통해 이미지 파일에 실제 좌표를 매칭하는 지리참조를 수행하였으며 I_GEOVEC모듈에서 노드간격, 등고선간의 최소간격, 벡터의 필터링 등 전처리 과정을 통해 선추적방식에 의한 벡터화과정을 수행하고 벡터 파일로 변화하여 레이어(feature)를 생성, dgn파일로 저장하였다.

2.3 수치실험 I 및 결과분석

수치실험 I에서는 완경사지, 급경사지, 복잡지 3개 지역에 대해 지형정보 획득단계에서 구성한 모델 1, 모델 2, 모델 3, 모델 4를 대상으로 개발한 시스템을 실행하여 불규칙삼각망 기반의 2차원과 3차원 지형모델을 구축, 불규칙삼각망 생성시의 점소거율, 정밀도(RMSE), 실행시간 등의 다양한 공간분석을 수행하였다.

2.3.1 불규칙삼각망 생성에 관한 분석

본 연구의 지형정보 처리에 있어서 3개 지형 10개 모델에 대해 불규칙삼각망을 이용한 지형모델링을 수행한 결과 평면 불규칙삼각망을 생성함에 있어 입력 데이터 점 수, 이용한 데이터 점 수 그리고 소거한 점 수를 비교·분석한 결과 완경사지는 Fig. 2, 급경사지는 Fig. 3, 복잡지는 Fig. 4와 같은 결과를 가져왔다.

Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4로부터 완경사지의 경우 모델 1에서는 8.4%, 모델 2에서는 7.0%, 모델 3에서는 10.8%, 모델 4에서는 10.1%의 점 소거율을 나타냄을 알 수 있

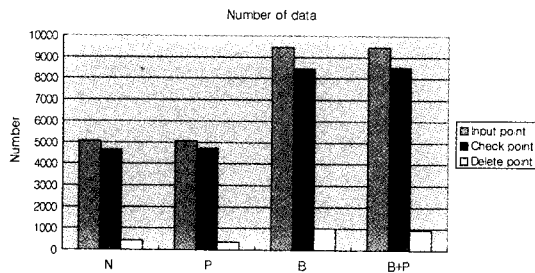


Fig. 2. Ratio of input data to delete data by model in mild slope

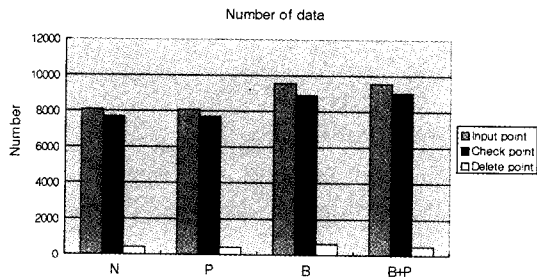


Fig. 3. Ratio of input data to delete data by model in mild slope

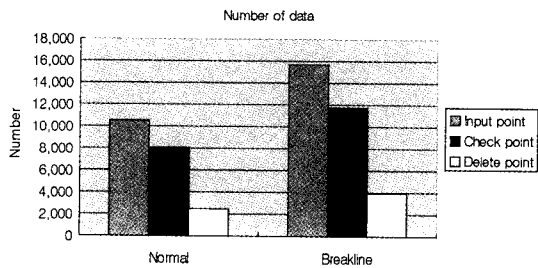


Fig. 4. Ratio of input data to delete data by model in complex

으며, 급경사지의 경우 모델 1에서는 5.0%, 모델 2에서는 5.2%, 모델 3에서는 6.5%, 모델 4에서는 5.3%의 점 소거율을 나타냄을 알 수 있다. 그리고 복잡지의 경우 모델 1에서는 23.5%, 모델 3에서는 20.6%의 점 소거율을 나타냄을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서 개발한 시스템을 이용하여 불규칙 삼각망을 생성하는 경우 지역에 따라 모델별로 완경사지에서는 3.8%, 급경사지에서는 1.5%, 복잡지에서는 2.9%에 이르는 점 소거율의 차이를 가져옴을 알 수 있었으며 완경사지, 급경사지는 모델 3의 점 소거율이 그리고 복잡지는 모델 1의 점 소거율이 가장 크게 나타남을 알

수 있다.

2.3.2 정밀도 분석

불규칙삼각망을 이용한 고정밀 지형모델링에 있어 3개 지형 10개 모델에 대해 적용기법별로 정밀도를 분석한 결과 Fig. 5와 같은 결과를 나타냈다.

완경사지의 경우 모델 1에서는 0.972 m, 모델 2에서는 0.965 m, 모델 3에서는 0.900 m, 모델 4에서는 0.923 m의 정밀도를 나타냈으며 급경사지의 경우 모델 1에서는 1.085 m, 모델 2에서는 1.000 m, 모델 3에서는 1.019 m, 모델 4에서는 1.074 m의 정밀도를 보였다. 그리고 복잡지의 경우 모델 1에서는 5.135 m, 모델 3에서는 4.995 m의 정밀도를 나타냈다.

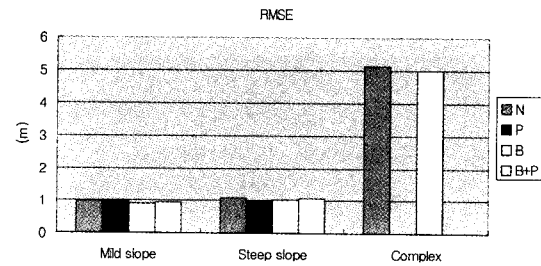


Fig. 5. RMSE by model in creation of TIN

Fig. 5로부터 완경사지와 복잡지의 경우 모델 3에서, 급경사지의 경우 모델 2에서 정밀도가 가장 양호함을 알 수 있다.

따라서 불규칙삼각망을 이용한 고정밀 지형모델을 구축함에 있어서는 완경사지와 복잡지의 경우 지성선에 대한 지형정보가 급경사지의 경우 peak에 대한 지형정보가 정밀도에 있어 비교 적용모델에 비해 상대적으로 양호한 정밀도를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

2.3.3 실행시간 분석

불규칙삼각망을 이용하여 고정밀 지형모델을 구축함에 있어 본 연구에서는 3개 지형 10개 모델에 대해 본 연구에서 개발한 시스템을 이용하여 각 모델별로 지형정보를 로딩한 후 불규칙삼각망을 생성하는데 소요되는 실행시간을 분석한 결과 Fig. 6과 같은 결과를 나타냈다.

Fig. 6으로부터 완경사지의 경우 모델 1에서는 21.4 초, 모델 2에서는 23.2초, 모델 3에서는 31.0초, 모델 4에서는 33.1초의 실행시간이 소요되는 것으로 나타났으며 급경사지의 경우 모델 1에서는 24.5초, 모델 2에서는

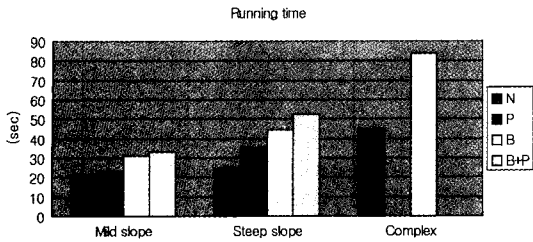


Fig. 6. Running by models in creation of TIN.

35.5초, 모델 3에서는 44.4초, 모델 4에서는 52.5초의 실행시간이 소요되는 것으로 나타났다. 또한 복잡지의 경우 모델 1에서는 45초, 모델 3에서는 1분 24초의 실행시간이 소요되는 것으로 나타났다.

이 결과로부터 지형정보가 다양하게 추가됨에 따라 실행 소요시간이 증가함을 알 수 있다.

2.4 수치실험 I 및 결과분석

수치실험 II는 고정밀 공간분석을 수행할 수 있는 기법을 찾기 위한 세부실험으로 수치실험 I에서 가장 좋은 정밀도를 보여주는 모델을 비교·분석하여 본 연구에서 개발한 시스템을 운용하여 불규칙삼각망 기반의 지형모델링시 요구되는 5가지의 경사도 평가방법과 2가지의 surface 구축방법을 각각 선택적으로 적용하여 실험을 수행하였다.

그리고 수치실험 I에서와 같이 점 소거율, 정밀도, 실행시간 등의 공간분석을 수행하여 고정밀 공간분석기법 개발을 위한 루틴을 도출하였다.

수치실험 I에서 수행한 실험결과 환경사지와 복잡지는 지성선에 대한 지형정보를 추가로 고려한 모델 3이 가장 좋은 정밀도를 나타냈으며, 급경사지는 peak에 대한 지형정보를 추가한 모델 2가 가장 좋은 정밀도를 나타냈다.

따라서 수치실험 II에서는 환경사지와 복잡지의 모델 3과 급경사지의 모델 2를 선택하여 수치실험 I의 결과에 대한 세부실험으로 불규칙삼각망기반의 지형모델링시 5가지의 경사도 평가방법과 2가지의 surface 구축방법, 그리고 보간방법에 따른 정밀도 분석 등 다양한 공간분석을 수행하여 고정밀 공간분석개발을 도출하는 실험이 수행되었다.

본 연구에서 개발한 시스템을 운용하여 지형모델링을 수행할 때에 적용할 수 있는 경사도 평가방법과 surface 구축방법 그리고 보간방법은 다음과 같다.

■ 경사도 평가방법

- Neighborhood-based linear (N)
- Triang cross products (T)
- Least square planes (LSP)
- Minimum curvature spline (M)
- Least squares quadratic (LSQ)

■ surface 구축방법

- Neighborhood-based (N)
- Triangle-based (T)

■ 보간방법

- Linear (L)

다음 Fig. 7은 수치실험 II에서의 고정밀 공간분석 기법의 개발과정을 보여준다.

2.4.1 불규칙삼각망 생성에 관한 분석

수치실험 I에서의 결과를 적용하여 환경사지와 복잡지 2개 지역에 대해서는 지성선에 대한 지형정보를 추가한 모델 3을 기초 데이터로 하고 급경사지에 대해서는 peak

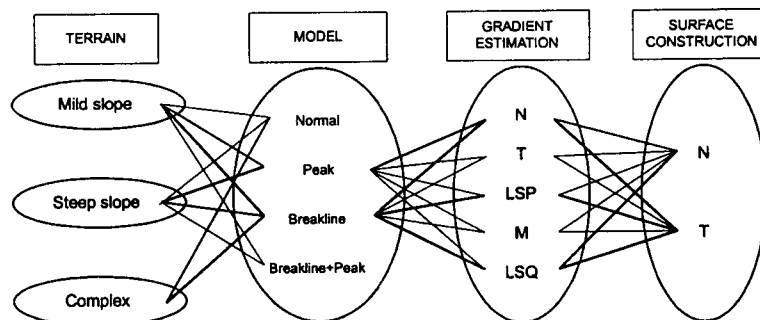


Fig. 7. Development procedures of high-precision spatial analysis technique

에 대한 지형정보를 추가한 모델 2를 기초 데이터로 하여 고정밀 공간분석기법의 탐색을 위한 처리 루틴에 따라 각각의 시스템운용에 필요한 요구사항을 선택적으로 변경하여 불규칙삼각망을 이용한 지형모델링을 수행한 결과 불규칙삼각망을 생성함에 있어 입력데이터 점 수, 이용한 데이터 점 수 그리고 소거한 점 수에 대하여 환경사지는 Fig. 7, 급경사지는 Fig. 8, 복잡지는 Fig. 9와

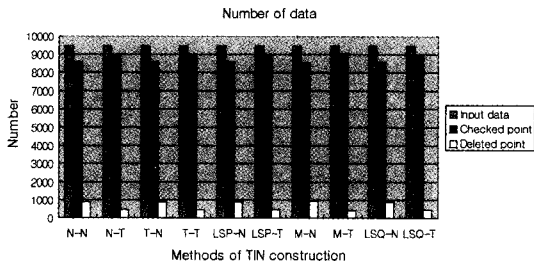


Fig. 7. Ratio of input data to delete data by model (mild slope)

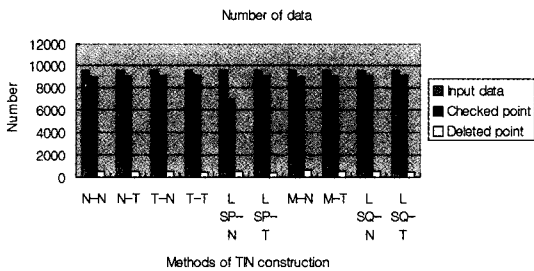


Fig. 8. Ratio of input data to delete data by model (steep slope)

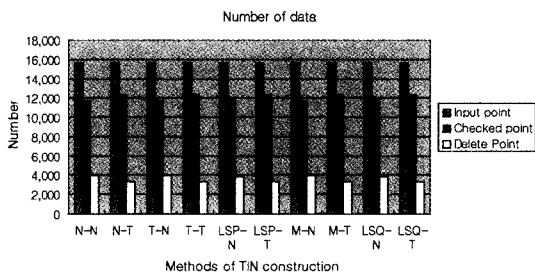


Fig. 9. Ratio of input data to delete data by model (Complex)

같은 결과를 가져왔다.

Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9로부터 환경사지의 경우 N_N, T_N, LSQ_N에서는 9.2%, LSP_N, M_N에서는 9.8%, N_T, T_T, LSP_T, LSQ_T에서는 5.0%, M_T에서는

4.6%의 점 소거율을 나타냄을 알 수 있으며 급경사지의 경우 N_N에서는 5.9%, N_T, M_T에서는 5.4%, T_N, LSQ_N에서는 5.1%, T_T와 LSQ_T에서는 4.8%, LSP_N에서는 5.6%, LSP_T에서는 4.4%, M_N에서는 6.7%의 점 소거율을 나타냄을 알 수 있다. 그리고 복잡지의 경우 N_N, T_N, M_N에서는 25.2%, N_T, T_T, LSP_T, M_T, LSQ_T에서는 21.5%, LSP_N, LSQ_N에서는 24.9%의 점 소거율을 나타냄을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 개발한 시스템을 이용하여 불규칙삼각망을 생성하는 경우 환경사지와 급경사지의 경우 M_N에서, 복잡지의 경우 N_N, T_N, M_N에서 최대의 점 소거율을 가져옴을 알 수 있었다.

2.4.2 정밀도 분석

불규칙삼각망을 이용한 고정밀 지형모델링기법 개발의 탐색을 위한 처리 루틴에 따라 3개 지형에 대해 불규칙삼각망을 이용한 지형 모델링을 수행한 결과 불규칙삼각망을 생성함에 있어 적용기법별로 정밀도를 분석한 결과는 Fig. 10과 같이 나타났다.

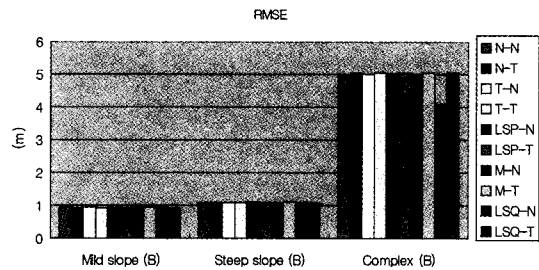


Fig. 10. RMSE by detail option in generation of TIN

Fig. 10으로부터 환경사지의 경우 N_N, T_N, LSP_N, LSQ_N에서는 0.939m로 같은 정밀도를 유지하는 결과를 나타냈고, M_N에서는 0.925 m 그리고 N_T, T_T, LSP_T, LSQ_T에서는 0.906 m, M_T에서는 0.927 m의 정밀도를 나타냈다. 급경사지의 경우 N_N에서는 1.089, N_T에서는 1.094, T_N과 LSQ_N에서는 1.098, T_T에서는 1.099, LSP_N에서는 1.103, LSP_T에서는 1.095, M_N에서는 1.084, M_T에서는 1.105, LSQ_T에서는 1.099m의 정밀도를 나타냈다. 복잡지의 경우 N_N, T_N, M_N에서는 4.995 m, N_T에서는 5.049 m, T_T, M_T에서는 5.045 m, LSP_N에서는 5.014 m, LSP_T에서는 5.046 m, LSQ_N에서는 4.985m, LSQ_T에서는 5.044 m의 정밀도를 나타내었다.

Fig. 10으로부터 완경사지의 경우 N_T, T_T, LSP_T, LSQ_T에서 급경사지의 경우 M_N에서 복잡지의 경우 LSQ_N에서 RMSE가 가장 작게 나타났다. 따라서 불규칙삼각망을 이용한 고정밀 지형모델을 구축함에 있어서는 완경사지의 경우 처리 루틴이 N_T, T_T, LSP_T, LSQ_T로 즉, triangle-based 방법으로 surface를 구축하는 루틴이 비교 루틴에 비해 2.1%~3.6% 정도 양호한 정밀도를 나타내었다. 그리고 급경사지의 경우 처리 루틴을 M_N 즉, minimum curavature spline으로 경사도를 평가하고 neighborhood-based 방법으로 surface를 구축하는 루틴이 비교 루틴에 비해 0.5%~1.7%에 이르는 정도의 양호한 정밀도를 나타내었다. 복잡지의 경우는 처리 루틴을 LSQ_N 즉, least squares quadratic으로 경사도를 평가하고 neighborhood-based 방법으로 surface를 구축하는 루틴이 비교루틴에 비해 0.2~1.3%에 이르는 정도의 양호한 정밀도를 나타내었다.

2.4.3 실행시간 분석

불규칙삼각망을 이용하여 고정밀 지형모델을 구축함에 있어 본 연구에서 완경사지와 복잡지 2개 지형에 대해서는 지성선에 대한 지형정보를 추가한 모델 3에 대해 그리고 급경사지에 대해서는 peak에 대한 지형정보를 추가한 모델 2에 대해 지형정보를 로딩한 후 처리 루틴별로 불규칙삼각망을 생성하는데 소요되는 실행시간을 분석한 결과 Fig. 11과 같은 결과를 나타냈다.

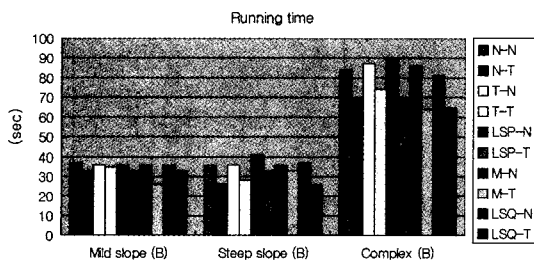


Fig. 11. Running time by detail option in generation of TIN

Fig. 11로부터 완경사지의 경우 N_N에서는 37초, N_T, LSP_T, LSQ_T에서는 33초, T_N, LSP_N, M_M, LSQ_N에서는 36초, T_T에서는 35초, M_T에서는 26초의 실행시간이 소요되는 것으로 나타났으며, 급경사지의 경우 N_N, T_N, M_N에서는 36초, N_T, LSQ_T에서는 26초, T_N, M_N에서는 36초, T_T에서는 28초, LSP_N

에서는 41초, LSQ_N에서는 37초의 실행시간이 소요되는 것으로 나타났다. 그리고 복잡지의 경우 N_N에서는 84초, N_T에서는 70초, T_N에서는 87초, T_T에서는 74초, LSP_N에서는 90초, LSP_T에서는 69초, M_N에서는 86초, M_T에서는 64초, LSQ_N에서는 81초, LSQ_T에서는 65초의 실행시간이 소요되는 것으로 나타났다.

이 결과로부터 완경사지의 경우 처리 루틴 M_T가 비교 루틴에 비해 상대적으로 27%~42%까지의 실행시간이 단축되는 것으로 급경사지의 경우 처리 루틴 N_T와 LSQ_T가 비교루틴에 비해 상대적으로 8%~42%까지의 실행시간이 단축되는 것을 알 수 있다. 그리고 복잡지의 경우 처리 루틴 M_T가 비교 루틴에 비해 2%~41%까지 실행시간이 단축되는 것을 알 수 있다.

2.4.4 3차원 지형모델링

1) 완경사지(Fig 12, 13)

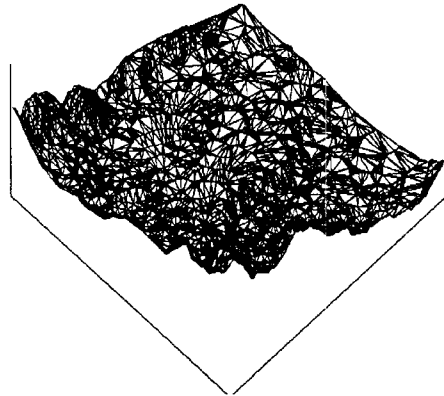


Fig. 12. 3D by developed program (LSP_T)

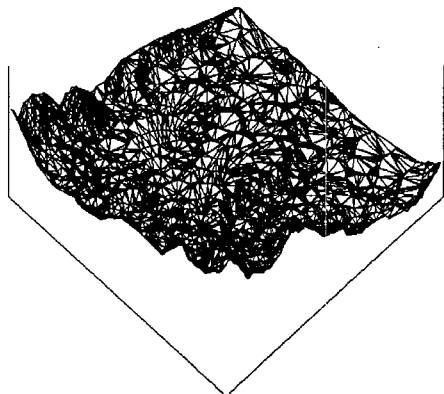


Fig. 13. 3D by developed program (LSQ_T)

2) 급경사지(Fig. 14)

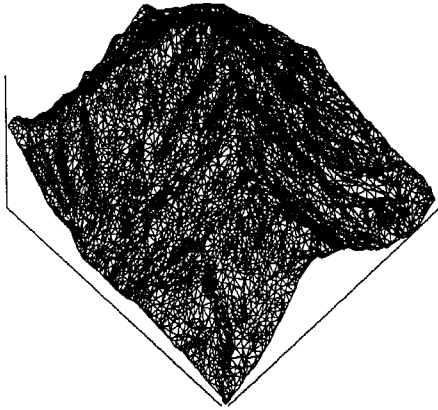


Fig. 14. 3D by developed program (N_T)

3) 복잡지(Fig. 15)

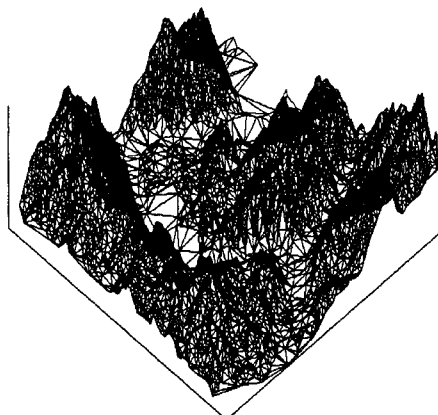


Fig. 15. 3D by developed program (LSQ_T)

3. 지형특징을 고려한 고정밀공간분석기법

지형특징별 고정밀 3차원 공간분석 개발을 위한 루틴을 선택하기 위해 3가지 즉, 점소거율, 정밀도, 실행시간에 대해 가중치를 적용하여 최적의 루틴을 도출하였다.

최적 루틴 도출을 위한 가중치 적용은 본 연구의 목적이 고정밀 3차원 공간분석기법 개발에 있으므로 가장 큰 중요도를 두었으며 효율성을 위해 실행시간, 점 소거율 순으로 중요도를 두었다.

가중치는 각각의 루틴별로 정밀도에는 3, 실행시간에는 2, 점 소거율에는 1을 적용하여 총계가 가장 작은 루틴을 최적의 루틴으로 결정하였다.

Table 2, Table 3, Table 4는 완경사지, 급경사지, 복

Table 2. Result applied to weighting power for optimal routine (mild slope)

Routine	Item	Ratio of input data to delete point	RMSE	Running time	Total value	Grade
N_N		2	12	8	22	⑦
N_T		3	3	2	8	①
T_N		2	12	6	20	⑥
T_T		3	3	4	10	②
LSP_N		1	12	6	19	⑤
LSP_T		3	3	2	8	①
M_N		1	6	6	13	③
M_T		4	9	2	15	④
LSQ_N		2	12	6	20	⑥
LSQ_T		3	3	2	8	①

Table 3. Result applied to weighting power for optimal routine (steep slope)

Routine	Item	Ratio of input data to delete point	RMSE	Running time	Total value	Grade
N_N		6	6	8	20	④
N_T		4	9	2	15	①
T_N		3	15	8	26	⑦
T_T		2	18	4	24	⑥
LSP_N		5	21	12	38	⑩
LSP_T		1	12	6	19	③
M_N		7	3	8	18	②
M_T		4	24	6	34	⑨
LSQ_N		3	15	10	28	⑧
LSQ_T		2	18	2	22	⑤

Table 4. Result applied to weighting power for optimal routine (complex)

Routine	Item	Ratio of input data to delete point	RMSE	Running time	Total value	Grade
N_N		1	6	14	21	③
N_T		4	21	8	33	⑨
T_N		1	6	18	25	⑤
T_T		4	15	10	29	⑦
LSP_N		2	9	20	31	⑧
LSP_T		4	18	6	28	⑥
M_N		1	6	16	23	④
M_T		4	15	2	21	③
LSQ_N		3	3	12	18	①
LSQ_T		4	12	4	20	②

잡지의 지형특징에 대해 가중치를 적용하여 도출한 결과이다.

Table 2로부터 완경사지의 경우 Surface 구축방법에 있어 점 소거율은 triangle-base기법보다는 neighborhood-based기법이 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있다.

정밀도는 neighborhood-based 기법에 비해 triangle-based 기법이 양호한 결과를 나타냄을 알 수 있다.

실행시간의 경우 neighborhood-based 기법보다는 triangle-based 기법이 신속함을 알 수 있다.

가중치를 적용하여 결정된 고정밀 3차원 공간분석기법 개발을 위한 최적의 루틴은 N_T, LSP_T, LSQ_T 3개의 루틴으로 가장 작은 값을 나타내었다.

따라서 완경사지의 경우 고정밀 3차원 공간분석시에는 지성선에 대한 지형정보를 추가한 모델 3을 이용하여 N_T, LSP_T, LSQ_T의 루틴으로 수행하는 것이 최적의 루틴으로 결정되었다.

Table 3으로부터 급경사지의 경우 Surface 구축방법에 있어 점 소거율은 neighborhood-based기법보다는 triangle-based기법이 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있다.

정밀도는 neighborhood-based기법이 triangle-based기법보다 다소 양호한 결과를 나타냄을 알 수 있다.

실행시간의 경우 neighborhood-based 기법보다는 triangle-based 기법이 신속함을 알 수 있다.

가중치를 적용하여 결정된 고정밀 3차원 공간분석기법 개발을 위한 최적의 루틴은 N_T로 가장 작은 값을 나타내었다.

따라서 급경사지의 경우 고정밀 3차원 공간분석시에는 peak에 대한 지형정보를 추가한 모델 2를 이용하여 N_T의 루틴으로 수행하는 것이 최적의 루틴으로 결정되었다.

Table 4로부터 복잡지의 경우 Surface 구축방법에 있어 점 소거율은 triangle-base기법보다는 neighborhood-based 기법이 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있으며, 정밀도는 triangle-based기법에 비해 neighborhood-based기법이 양호한 결과를 나타냄을 알 수 있다. 실행시간의 경우 neighborhood-based 기법보다는 triangle-based 기법이 신속함을 알 수 있다.

가중치를 적용하여 결정된 고정밀 3차원 공간분석기법 개발을 위한 최적의 루틴은 LSQ_N의 루틴으로 가장 작은 값을 나타내었다.

따라서 복잡지의 경우 고정밀 3차원 공간분석시에는 지성선에 대한 지형정보를 추가한 모델 3을 이용하여 LSQ_N의 루틴으로 수행하는 것이 최적의 루틴으로 결정되었다.

4. 결 론

본 연구는 지형정보를 이용한 효율적인 2D, 3D 공간 분석을 목적으로 불규칙삼각망을 이용한 지형모델링 시스템을 개발하고 그 적용기법에 관하여 연구하여 고정밀 지형모델링 기법을 제시함에 목적이 있는 연구로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 완경사지와 급경사지의 경우 지성선을 고려한 모델 3의 경우가, 복잡지의 경우 peak를 고려한 모델 2의 경우가 상대적으로 비교모델에 비해 작은 RMSE를 보임으로써 비교모델 중 가장 정밀도가 양호함을 알 수 있었다.

2. 불규칙삼각망 생성에 있어서 급경사지에서 보다는 완경사지에서 점 소거율이 크게 나타나면서 비교지역에 비해 상대적으로 효율적으로 삼각망을 생성함을 확인할 수 있었다.

3. 경사도 평가방법과 surface 구축방법에 따른 최적의 루틴을 도출한 결과 완경사지의 경우 N_T, LSP_T, LSQ_T의 루틴으로 공간분석을 수행하는 기법, 급경사지의 경우 N_T의 루틴으로 공간분석을 수행하는 기법, 복잡지의 경우 LSQ_N의 루틴으로 공간분석을 수행하는 기법이 고정밀 3차원 공간분석을 위한 최적의 루틴으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 1998년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 수행되었기에 한국학술진흥재단에 깊이 감사드립니다.

참고문헌

1. Leila De Floriani and Paola Magillo, "Visibility algorithms on triangulated digital terrain models", International Journal of GIS, Vol. 8, No. 1, 1994, pp. 13-41.
2. Martin Heller, "Triangulation algorithms for adaptive terrain modeling", Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Data Handling, 1990, pp. 163-174.
3. Jay Lee., "Comparison of existing methods for building triangular irregular network models of terrain from grid digital elevation models", International Journal of GIS,

- Vol. 5. No. 3, 1991, pp. 267-285.
4. A. Mirante and N. Weingarten, "The radial sweep algorithm for constructing triangulated irregular networks", *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2(3), 1982, pp. 11-21.
 5. Kumler, Mark Philip, "An Intensive Comparison of TINs and DEMs", University of California, 1992, pp. 146-157.
 6. Marc Van Kreveld, "Efficient methods for isoline extraction from a TIN", *International Journal of GIS*, Vol. 10, No. 5, 1996, pp. 523-540.
 7. Terje Midtbo, "Removing points from a delaunay triangulation", *ADVANCES IN GIS RESEARCH*, Vol. 2, 1994, pp. 739-750.
 8. Linda Hoehn Graff, "An Approach To Automated Terrain Classification From Digital Elevation Model Data", *ACSM/ASPRS*, Vol. 3, 1993, pp. 112-121.
 9. Victor J. D. Tsai, "Delaunay triangulations in TIN creation: an overview and a linear-time algorithm", *International Journal of GIS*, Vol. 7, No. 6, 1993, pp. 501-524.
 10. 신봉호, 양승룡, 엄재구, 송왕재, "3차원 지형모델링의 정확도 향상에 관한 연구", *한국측지학회*, Vol. 14, No. 2, 1996, pp. 151-157.
 11. 이석찬, 고영호, 이창경, 최병길, "비정규삼각망 데이터 구조에 의한지형의 수치화", *대한토목학회 논문집*, 제 14권 2호, 1994, pp. 325-334.