

수치표고모형(DEM) 구축을 위한 지형별 보간 방법 및 격자크기에 관한 연구

A Study on Interpolation methods and size of grid to the various topographical characteristics for the construction of DEM(Digital Elevation Model)

우재윤*, 구지희**, 홍창희***, 김태훈****

Je Yoon Woo, Jee Hee Koo, chang Hee Hong, Tae Hoon Kim

요약 우리나라는 국가기본지리정보(NGIS) 사업에 의해 전국적인 수치지형도가 구축되어 있어 어느 지역에서도 수치표고자료를 제작하여 활용이 가능하게 되었다. 정확한 수치표고모형을 제작하기 위해서는 적용되는 보간 방법과, 적합한 격자크기의 선정이 중요하다. 수치표고모형 제작과 관련된 국내의 기존 연구는 여러 번 있었으나, 우리나라의 다양한 지형적 특색을 고려하지는 못하였다.

본 연구에서는 우리나라의 수치표고모형 구축을 위하여 지형별로 적합한 보간 방법과 알맞은 격자크기를 제시하였다. 이를 위해 풍기지역을 산악지, 구릉지, 도심지, 농경지의 특성 지역으로 나누고, 축척 1/5000의 수치지형도를 이용하여 다양한 보간 방법과 격자크기로 수치표고모형을 제작하였으며, 항공측량을 통해 추출한 고도 데이터를 이용하여 정확도를 검증하였다.

연구 결과 지형적 특성에 적합한 보간 방법을 비교·분석한 결과, Kriging방법이 모든 지형에서 TIN방법에 비하여 우수하게 나타났으며, 지형특성별로 격자크기를 실험한 결과 DEM을 구축할 경우에 산악지나 구릉지는 10m 격자간격으로, 그리고 도심지나 농경지는 30m 격자간격으로 DEM을 구축하는 것이 가장 적합하다는 결론을 도출하였다.

ABSTRACT We are able to construct and utilize DEM(Digital Elevation Model) throughout the NGIS(National Geographic Information System) project. It is important that interpolation methods and appreciate size of grid for the construction of accurate DEM(Digital Elevation Model). There were several references related to the DEM(Digital Elevation Model) construction method, however they couldn't consider various topographical characteristics in the Korea.

In this study, we recommended that suitable interpolation method for each topographic element. After dividing Poonggi area into mountain, hill, urban, agricultural land, we constructed DEM(Digital Elevation Model) with various interpolation methods and grid size using 1:5,000 digital map. Then evaluated accuracy using elevation data which extracted from air-photo.

The interpolation methods were analyzed and compared for various topographical conditions. As a result, Kriging method was superior to TIN method for all the topographical conditions. Another experiment was performed to examine optimal grid space for DEM with each topographical condition. 10m grid space was most suitable for mountain area and hilly districts, while 30m grid space was most suitable for urban area and farm land.

키워드 : 수치표고모형, DEM, 보간 방법, 격자크기

* 한국건설기술연구원 GIS사업단 수석연구원, E-mail: jywoo@kict.re.kr

** 한국건설기술연구원 GIS사업단 선임연구원, E-mail: jhkoo@kict.re.kr

*** 한국건설기술연구원 GIS사업단 연구원, E-mail: chhong@kict.re.kr

**** 한국건설기술연구원 GIS사업단 연구원, E-mail: kth@kict.re.kr

1. 서론

현재 우리나라는 국가기본지리정보(NGIS) 계획에 의해 국립지리원에서 전국지역의 1/5,000, 1/25,000 축척 수치지형도와 78개 도시지역의 1/1,000 축척 수치지형도를 구축하였다. 이러한 수치지형도 자료를 이용하여 다양한 분야에서 수치표고자료를 제작·활용하고 있으며, 그 수요 또한 크게 증가하고 있는 상황으로, 우리나라 지형적 특성에 적합한 수치표고모형의 제시가 시급한 실정이다..

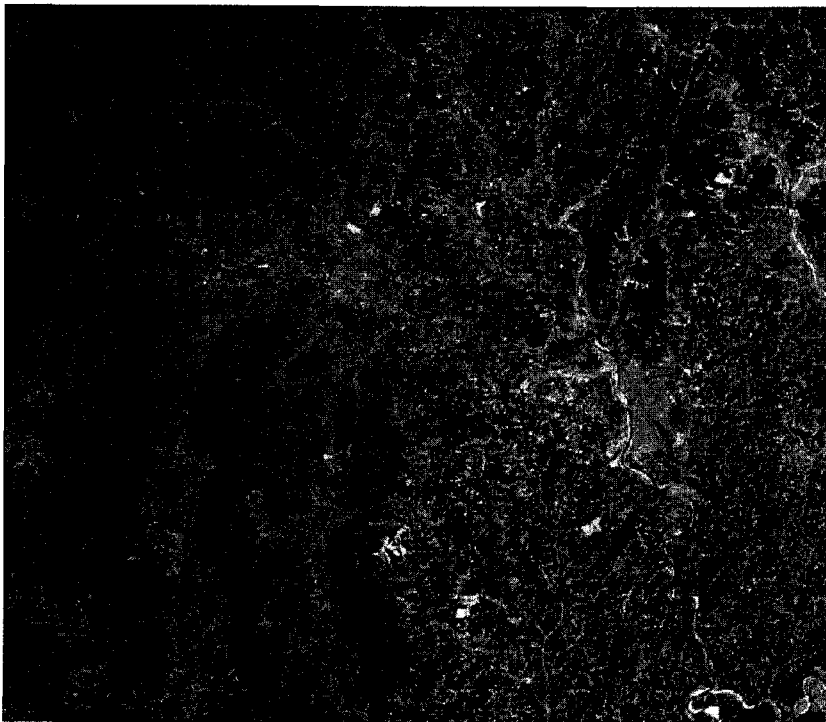
국내에서 기존의 수치표고모형에 관한 연구로 조등(1998)이 공주지역의 완만한 경사지역에 Kriging, TIN(Triangulated Irregular Networks), IDW(Inverse Distance Weight) 보간 방법들을 사용한 결과 Kriging 보간 방법의 정확도가 월등하고 복잡한 등고선의 재현도가 매우 뛰어났다고 밝혔으며, 황등(1999)은 평탄한 지역에서 TIN 보간 방법이 등고선 간격에 절대적으로 의존하기 때문에 효과적으로 DEM을 생성하지 못하는 현상이 나타났으며, Kriging 보간 방법은 다른 보간 방법에 비해 우수한 결과를 나타냈다는 결과를 도출하였다. 또한 국립지리

원에서 실시한 국가고도자료 구축연구에서는 TIN 보간 방법을 권장하였으며, 1/5000 축척의 수치지형도를 이용하였을 경우에 격자간격의 크기로 10m가 바람직하다고 제시하였다.

그러나 이러한 기존연구들은 특정 지역만을 대상으로 연구가 이루어진 것으로 우리나라의 다양한 지형적 특색에 대한 고려가 미흡하여 국가 전체 DEM 구축 등에 그 연구결과를 활용하기에는 어려운 점이 많다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 다양한 지형형태, 즉 평지와 산악지형, 하천지형 등 지형특성별로 수치표고모형 제작을 위한 적합한 보간 방법과 격자크기를 연구하고 그 결과를 제시하고자 한다.

2. 연구 지역 및 자료

본 연구지역은 경상북도 영주시 풍기읍지역으로, 우리나라의 대표적인 지형특성 즉, 산악지, 도심지, 구릉지, 농경지, 하천 등을 모두 포함하고있다. 연구자료는 풍기지역의 1/5000 수치지형도를 사용하였으며, 정확도 검증에는 항공측량을 통해 추출한 표고데이터를 사용하였다.



〈그림 1〉 연구 대상 지역(풍기지역 Landsat TM 영상)

〈표 1〉 연구지역 및 자료

연구 지역	연구내용	사용자료
풍기 지역	보간방법	1/5,000 수치지도 항측을 통해 추출한 표고데이터(기준데이터)
풍기 지역	격자크기	

3. 연구 방법

3.1 보간법

실제 지형을 연속적인 함수로 표현하기 위해 주어진 기지점들로부터 정보가 없는 지형의 고도값을 최적의 방법으로 추정하여 표현하는 것을 보간이라 하며, 보간법에는 TIN, Kriging, IDW 등의 방법이 쓰인다. 관련기관 및 업체의 전문가를 대상으로 한 설문조사와 문헌조사, 외국사례를 토대로 분석한 결과, 가장 널리 쓰이는 보간방법으로는 Kriging 보간법과 TIN보간법으로 나타났다. 그러므로 본 연구에서도 Kriging 보간법과 TIN보간법을 사용하여 정확도를 비교·분석하였다.

3.1.1 Kriging 보간법

Kriging 보간법은 주변 관측값을 이용하여 보간 점의 값을 추정하는 방법이다. 통계학적인 의미의 거리로부터 유도된 반분산(semi-variance)을 계산하여

점 관측자료들의 공간적 구조와 상호관련성을 검증하는 반분산도(semi-variogram)를 이용, 적절한 수학적 함수모형을 선택하여 주변 값을 결정하는 최적화기법을 적용하기 때문에 이 보간법을 최적의 선행기법이라 한다.

이 보간법에서 보간에 사용되는 경중률은 기지점 상호간의 거리에 따른 기지점들의 반분산에 따라 좌우된다. 실제 계산에 의해 구해진 반분산에 의해 반분산도를 작성하고, 이것을 이용하여 여러 수학적 함수모형(spherical, circular, exponential, linear 모델 등) 중 가장 적합하다고 생각되는 것을 선택, 이용하여 보간점과 대상지역내의 모든 기지점들간의 공간적 상호관계 반분산(semi-variance)을 구한다. 다음은 반분산을 구하는 식이다.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \frac{\sum [Z(X_i) - Z(X_i+h)]^2}{N}$$

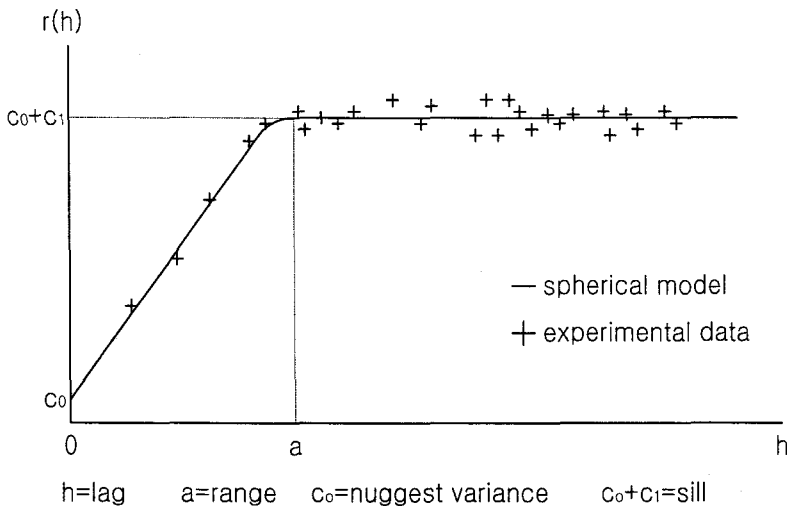
여기서, $\gamma(h)$: semi-variance 값

$Z(X_i)$: X_i 지점에서의 관측값

$Z(X_i+h)$: X_i 지점에서 거리 h 만큼 떨어진 지점에서의 관측값

N : 거리 h 에 의해 나누어진 관측값들 쌍의 갯수

즉, Kriging 보간법은 각 기지점들간의 거리 h_{ij} 를 이용 반분산을 구한 후 보간 점에 대한 경중률 (ω_i)을



〈그림 2〉 반분산도

산정하고, 다음 식에 의해 보간 점을 추정한다.

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot Z_{x_i}$$

※ 반분산도(Semi-variogram)

대부분 표준편차는 크기만의 스칼라 값으로서 다음 식으로서 정의된다.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

크기뿐만 아니라 방향의 의미를 갖는 벡터값 반분산도는 표준편차의 1/2로 정의된다. 즉, $\gamma(h)$ 에서 고려되는 거리 h는 i와 j점과의 거리 h_{ij} 와 방향만 다른 h_{ji} 는 $\gamma(h)$ 가 벡터값이므로 서로 다른 것으로 고려되어 진다.

반분산도의 수학적 모델 중 그 특징을 확실하게 표현되어지는 Spherical 모델을 이용하면 다음과 같다.

$$\gamma(h) = c_0 + c \left(\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right) \quad 0 < h \leq a$$

$$\gamma(h) = c_0 + c_1 \quad h > a$$

a : $\gamma(h)$ 가 어느 거리 h에 도달하여 일정해질 때의 거리 (range)

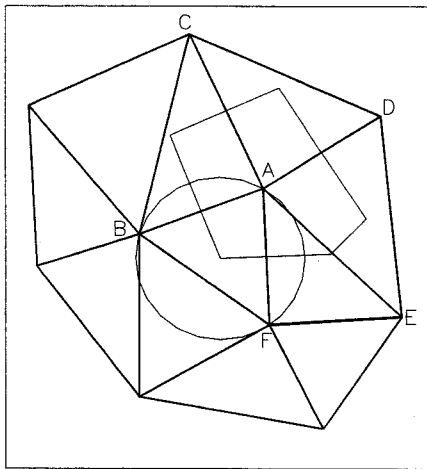
$c_0 + c_1$: 거리 h가 range에 도달할 때 $\gamma(h)$ 값

c_0 : h=0인 경우

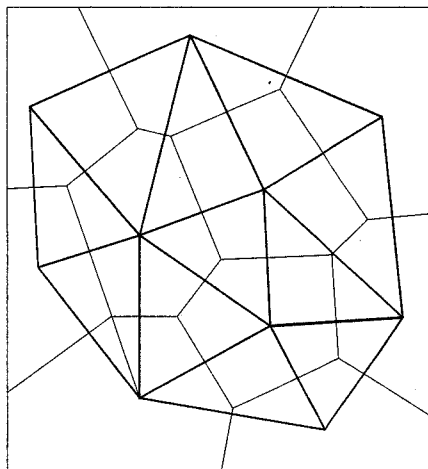
3.1.2 TIN 보간법

TIN(Triangulated Irregular Networks)은 불규칙하게 분포된 위치에서 표고를 추출하여 이들 위치를 삼각형의 형태로 연결하여 전체 지형을 불규칙한 삼각형의 망으로 표현하는 방식이다. 이러한 TIN 방식은 세 지점의 위치를 가지고 하나의 삼각형을 이루며, 각각의 삼각형 내에서 경사의 크기 및 방향 등이 결정되어 지형의 3차원적인 표현을 가능케 한다. 이러한 TIN방식은 위상구조를 가지는 벡터방식으로 래스터방식과 비교하여 비교적 적은 지점에서 추출된 표고 데이터를 사용하여 개략적으로나마 전반적인 지형의 형태를 나타낼 수 있으며, 계곡이나 골짜기 등의 지형의 변화가 심한 지역에서는 자료의 밀도를 높임으로써 지표면의 형태를 정확하게 나타낼 수 있다는 장점이 있다. TIN의 단점은 자료 파일을 생성하기 위하여 훨씬 많은 처리를 요하고, TIN을 생성하는 알고리즘에 따라 부수적으로 발생하는 오차에 차이가 나며, 생성된 삼각형의 경계 부근에서 생성되는 불필요한 객체를 제거하기 위한 수작업이 필요하다는 것이다(김계현, 2000).

TIN을 구성시키는데 있어서 가장 중요한 문제는 무작위로 추출된 소수의 점으로부터 지형을 가장 정확히 묘사하기 위해서는 이웃 점들과의 관계를 잘 확보할 수 있는가에 달려있다. 다시 말하면 삼각망 구성(분할)에 어떠한 방법을 적용하는가 하는 것이다. 이



(a)



(b)

<그림 3> Delaunay 삼각망

때 구성되는 삼각망은 정삼각망이 되도록 해야하며, 가능한 표고의 차가 최소가 되도록 한다. 또한, 삼각망의 가장 긴 변은 가능한 짧게 구성되도록 한다. 이 3가지 조건을 만족하여야 하는데 이러한 조건을 가장 잘 만족시키며 지형에 잘 일치되는 최적화 알고리즘인 Delaunay 삼각구분법이 일반적으로 가장 많이 사용되고 있다.

Delaunay 삼각구분법은 삼각형의 외접원안에 다른 점이 포함되어 있지 않도록 연결된 삼각망을 구성하는 방법이다. Delaunay 삼각망 각 변의 이등분선으로 만들어지는 다각형을 Voronoi 다각형(또는 Thiessen 다각형)이라 하며, Voronoi 다각형의 꼭지점은 델로니 삼각망의 외접원의 중심이 된다.

Voronoi 다각형은 Delaunay 삼각망의 제 2형태이므로 Delaunay 삼각망은 Voronoi 다각형으로부터 구축될 수 있고, 그 반대방향의 구축도 가능하다. 즉, 그림 3에서 A점을 둘러싸고 있는 선으로 그려진 다각형안의 모든 점들이 B, C, D, E, F 점에서 보다 A점에 더 가까운 다각형을 생성할 수 있다. 이 다각형이 바로 Voronoi 다각형으로 선분 AB, AC, AD, AE, AF의 수직이등분선에 의하여 만들어지게 된다. 이와 같이 Voronoi 다각형을 구성할 수 있는 삼각형 BAC, CAD, DAE, EAF, BAF가 Delaunay 삼각형이다. 지금까지 개발된 DEM의 불규칙 삼각망 구조는 대부분의 경우 Delaunay 삼각망에 근거를 두고 있다.

3.1.3 IDW(Inverse Distance Weighted) 보간법

IDW는 관측점들의 선형 가중 조합(linear weighted combination)을 이용하여 셀값을 결정하는 방법으로, 가중치는 거리와 반비례하며, 표면이 종속변수가 된다. 이 방법은 관측점간의 거리 인자만을 고려하므로 과거 자료의 축적이 없는 경우에 유용한 방법으로 사용된다. IDW가 상대적으로 높은 제곱값

으로 수행되면 지역적인 영향(local influence)이 높게 나타나 출력 표면이 증가하게 되며, 제곱값이 1이나 그 이하의 값을 가지게 되면 상대적으로 완만한 출력 표면을 생성하게 된다(global influence). IDW 방법이 주변 관측점들의 값을 평균하여 보간하는 만큼 보간된 값은 주변 관측점들의 최대값 보다 더 크거나 최소값 보다 더 작을 수는 없다. 따라서 산마루나 계곡과 같이 아주 급격하게 변하는 지형에 대한 보간으로는 적합하지 않다.

3.2 보간 방법의 비교

기존의 연구사례조사를 통하여 수치표고모형 제작을 위한 보간 방법 중 가장 일반적이고 유용하다고 판단된 Kriging 보간법과 TIN 보간법에 대하여 실제 시험을 통해 정확도를 비교 분석하였다. 두 보간법의 비교에 있어서 정확도 평가의 기준이 되는 표고값은 1/5,000 항공사진을 이용하여 해석도화기에서 추출한 정규격자망(5m×5m) 형태의 표고값을 이용하였다.

먼저 지형특성을 산악지, 구릉지, 도심지, 농경지로 구분하였으며, 각 지형별 특색을 가지는 1/5,000 수치지형도를 이용하였다. 수치지형도에서 표고자료를 추출하여 Kriging 보간 방법과 TIN 보간 방법으로 10m×10m 격자간격의 DEM을 구축하였다(국립지리원의 국가고도자료 구축연구Ⅱ 결과 참조). 정확도 비교는 사진측량에 의해 구축된 기준이 되는 정규격자망(5m×5m)을 이용하여 잔차를 구한 후, 평균제곱근오차를 각각 비교하였다.

3.3 지형별 격자크기 비교

본 연구에서는 1/5,000 수치지도를 이용하여 DEM을 구축할 경우 가장 적합한 격자크기를 결정하기 위하여 격자크기별로 정확도를 평가하였다. 격자크

〈표 2〉 규칙격자형 DEM 격자크기(국립지리원 국가고도자료 구축연구Ⅰ, 1998)

수치지도 축척	1/1,000	1/5,000	1/25,000	1/50,000
직각좌표계	2m×2m	5m×5m	25m×25m	50m×50m
경위도좌표계	0.1"×0.1"	0.2"×0.2"	1.0"×1.0"	1.5"×1.5"

〈표 3〉 규칙격자형 DEM 격자크기(국립지리원 국가고도자료 구축연구Ⅱ, 1999)

수치지도 축척	1/1,000	1/5,000	1/25,000	1/50,000
직각좌표계	5m×5m	10m×10m	50m×50m	100m×100m
경위도좌표계	0.2"×0.2"	0.3"×0.3"	1.5"×1.5"	3.0"×3.0"

〈표 4〉 공간영상정보시스템구축 시범사업 격자크기(국토연구원, 2000)

수치지도 축척	1/5,000	1/25,000
직각좌표계	10m×10m	50m×50m

기 실험은 앞에서 도출된 Kriging 보간법을 사용하였으며, 격자크기는 5m, 10m, 20m, 30m로 구분하여 실험하였다. 또한 지형특성을 산악지, 구릉지, 도심지, 농경지의 4가지로 나누어 각각의 지형특성에 따라 격자크기를 실험하였다.

국립지리원에서 수행한 선행연구(국가고도자료 구축 연구 I, II)에서 제안된 격자크기는 〈표 2〉와 〈표 3〉에 보인 바와 같다.

국토연구원은 2000~2001년에 수행한 “공간영상정보시스템 구축 시범사업”에서 〈표 4〉에 보는 바와 같이 수치표고자료의 격자크기를 사용하였다.

위의 표에서는 수치지도를 이용하여 DEM을 구축할 경우 수치지도의 축척에 따라 적합한 격자크기를 제시하고 있다. 그러나 이러한 연구들은 수치지도 축척에 따른 적정 격자크기를 원시자료의 정확도, 등고선간격 정도에 따라 제안한 것으로 지형적인 특성은 배제되었다. 이에 본 연구에서는 지형특성에 따라 적합한 DEM의 격자크기를 구하기 위하여 지형특성별로 정확도를 평가하였으며, 정확도 평가의 기준이 되는 자료로 실제 현지지형에서 직접측량방법에 의해 표고 자료를 획득하여야 하나, 본 연구에서는 비용과 시간

측면을 고려하여 최근(2000년 촬영)에 촬영된 항공사진으로부터 5m 간격의 표고값을 수동으로 추출하여 기준자료로 이용하였다. 실험은 각각의 지형특성에 대해 5m, 10m, 20m, 30m 격자크기를 모두 실험하였으며, 지형특성별 격자크기의 정확도를 비교·분석하기 위해 다음과 같은 보간 조건을 주었다.

- 기지점 선정
 - 보간점 주위에 가장 가까운 점의 수 2점, 4점, 8점, 16점, 32점, 64점, 128점
- 기지점 선정 반경
 - 20m, 40m, 60m, 80m, 100m

4. 연구 결과

4.1 보간 방법 비교 결과

구축된 DEM을 비교·분석한 결과, Kriging 방법이 모든 지형에서 TIN방법에 비하여 우수하게 나타났다. 특히 산악지에서는 Kriging 방법이 5.055m, TIN이 18.623m로 4배 가까이 차이가 발생하였으며,

〈표 5〉 Kriging 보간법과 TIN 보간법의 RMSE 비교

(단위:m)

지형특성	산악지		구릉지		도심지		농경지		
	Kriging	TIN	Kriging	TIN	Kriging	TIN	Kriging	TIN	
평균잔차 (절대값)	4.068	13.805	1.508	5.342	0.759	0.984	0.788	0.839	
RMSE	5.055	18.623	2.030	6.586	1.086	1.245	1.004	1.903	
최대잔차	(+)	6.560	2.973	6.143	14.306	4.138	1.407	3.568	3.609
	(-)	-16.904	-47.806	-7.713	-17.676	-2.623	-3.952	-3.076	-2.749

〈표 6〉 기지점 수에 따른 격자별 RMSE

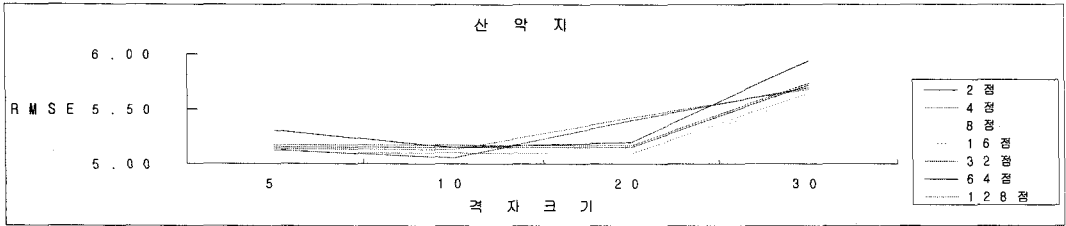
(단위 : m)

	2점	4점	8점	16점	32점	64점	128점
5m	5.303	5.136	5.097	5.097	5.128	5.151	5.174
10m	5.151	5.132	5.099	5.099	5.055	5.152	5.172
20m	5.199	5.419	5.098	5.095	5.396	5.153	5.170
30m	5.937	5.680	5.599	5.644	5.694	5.720	5.735

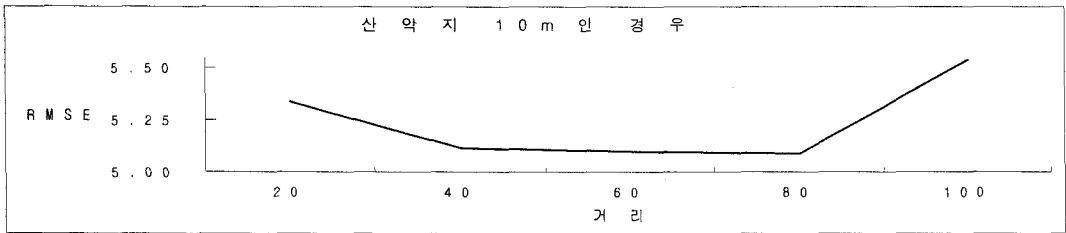
〈표 7〉 거리에 대한 격자별 RMSE

(단위 : m)

	20m	40m	60m	80m	100m
5m	5.336	5.115	5.098	5.072	5.442
10m	5.336	5.115	5.099	5.087	5.538
20m	5.336	5.116	5.110	5.077	5.406
30m	5.753	5.698	5.672	5.547	5.977



〈그림 4〉 기지점 수에 따른 격자별 RMSE 관계곡선(단위 : m)

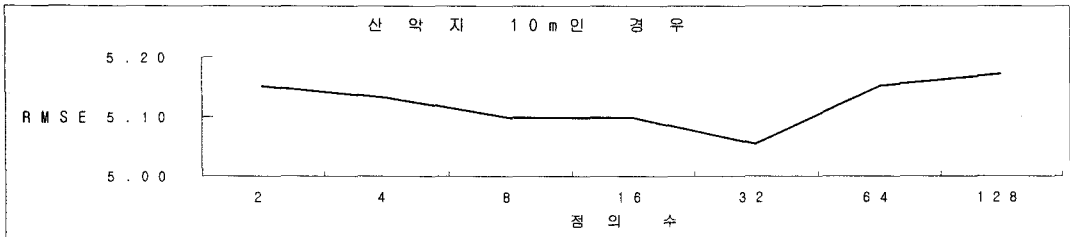


〈그림 5〉 거리에 따른 격자별 RMSE 관계곡선(단위 : m)

〈표 8〉 기지점 수에 따른 RMSE

(단위 : m)

점 의 수	2	4	8	16	32	64	128
평균잔차 (절대값)	4.029	4.023	3.990	4.025	4.068	4.096	4.114
RMSE	5.151	5.132	5.099	5.099	5.055	5.152	5.172
최대잔차(+)	9.511	9.511	8.850	5.374	5.655	6.560	7.560
최대잔차(-)	-15.731	-16.913	-16.905	-16.923	-16.912	-16.904	-16.899



〈그림 6〉 기지점의 수에 따른 RMSE 관계곡선(단위 : m)

구릉지에서는 Kriging 방법이 2.030m, TIN방법이 6.586m로 약 3배정도 차이가 나는 결과를 보였다. 도심지와 농경지에서는 보간 방법에 따라 크게 차이가 나지는 않았다. 표 5는 Kriging과 TIN 보간법에 대한 비교표이며, Kriging 보간법이 전반적으로 정확도가 우수한 것으로 실험결과 나타났다.

4.2 지형별 격자크기 비교 결과

4.2.1 산악지

산악지역을 분석한 결과를 보면 격자간격 10m일 경우에 타 격자간격(5m, 20m, 30m)보다 정확도면에서 가장 우수한 결과가 나타났다(표 6, 그림 4. 참조). 보간 방법 중 선택사항인 기준점 수를 고려할 경우에는 32점, 거리를 고려할 경우에는 60m일 경우에 오차가 최소로 나타났다(표 6, 그림 4, 표 7, 그림 5 참조).

1) 격자간격 10m에 대한 실험결과

산악지에 대해 격자크기를 10m로 DEM을 구축하였을 때 다음과 같이 결과가 나타났다(표 8, 그림 6, 표 9, 그림 7). 기지점의 수를 고려할 때는 기지점 수가 32점에서 가장 좋은 정확도를 보였으며, 거리를 고려할 때는 60m에서 가장 좋은 결과를 보였다.

4.2.2 구릉지

위의 산악지와 같은 경우로 기지점 수와 거리로 구분하여 정확도를 분석하였다.(표 10, 그림 8, 표 11, 그림 9) 구릉지의 경우도 산악지와 마찬가지로 격자간격이 10m일 때 타 격자크기(5m, 20m, 30m)보다 정확도가 가장 좋게 나왔으며, 기지점 수를 고려하였을 경우에는 32점, 기지점 선정거리를 고려한 경우에는 60m일 때 오차가 최소로 나타났다. 격자크기 20m, 30m일 때의 실험결과를 보면 기지점의 수가 32점부터 128점까지 RMSE값이 상당히 큰 것으로 나타났으며, 또한 격자크기가 20m이고, 거리를 20m로 고려하였을 때는 반분산도가 형성되지 않아 보간이 이루어지지 않았다.

1) 격자간격 10m에 대한 실험결과

구릉지에 대해 격자크기를 10m로 DEM을 구축하였을 때 다음과 같이 결과가 나타났다.(표 12, 그림 10, 표 13, 그림 11). 기지점의 수를 고려할 때는 기지점 수가 32점에서 가장 좋은 정확도를 보였으며, 거리를 고려할 때는 60m에서 가장 좋은 결과를 보였다.

4.2.3 도심지

도심지를 분석한 결과, 격자크기가 30m일 때 생성된 DEM의 정확도가 가장 좋은 결과로 나타났다. 또한, 기지점 수 및 거리를 고려하였을 경우에는 기지점 수는 많을수록 정확도가 향상되었으며, 거리는 20m에서 가장 좋다가 40m, 60m까지 나빠지고 그 이후로는 멀수록 다시 좋아지는 것을 볼 수 있었다. 그러나 격자크기별로 정확도를 분석한 결과를 보면 큰 차이가 나지 않는 것을 볼 수 있다.(표 14). 그 이유는 1/5,000 수치지도에서 도심지와 같은 경우에는 표고점 및 등고선 등 직접표고자료가 작게 존재하기 때문에 이런 결과가 나온 것으로 추정된다.

1) 격자간격 30m에 대한 실험결과

도심지에 대해서는 격자크기를 30m로 DEM을 구축하였을 때 결과가 가장 좋았으며, 기지점의 수를 고려할 때는 기지점 수가 많을수록 좋은 결과를 보였고, 거리를 고려할 때는 20m에서 가장 좋고 40m에서 60m까지 나빠지다가 그 이후로 다시 좋아지는 결과를 보였다. 그러나 격자간격을 30m로 구축했을 때 기지점 선정거리가 20m인 경우 반분산도가 생성되지 않아 보간이 이루어지지 않았다.

4.2.4 농경지

농경지의 경우에는 도심지와 같이 격자크기 30m일 때 정확도면에서 가장 좋은 결과를 볼 수 있고, 또한 기지점 수 및 거리를 고려하였을 때, 기지점 수는 대체로 증가할수록 정확도가 좋은 것으로 나타났으며, 거리는 일정한 패턴이 나타나지 않았다. 다만 30m 격자간격일 경우 20m일 때 가장 좋은 결과가 나타났다. 또한 도심지와 마찬가지로 격자별 정확도 분석한 결과를 보면 큰 차이가 나지 않는 것을 볼 수 있다(표 18). 이는 도심지와 마찬가지로 수치지도상에 표고자료가 적고, 지형의 변화가 완만하기 때문에 이런 결과가 나온 것으로 볼 수 있다.

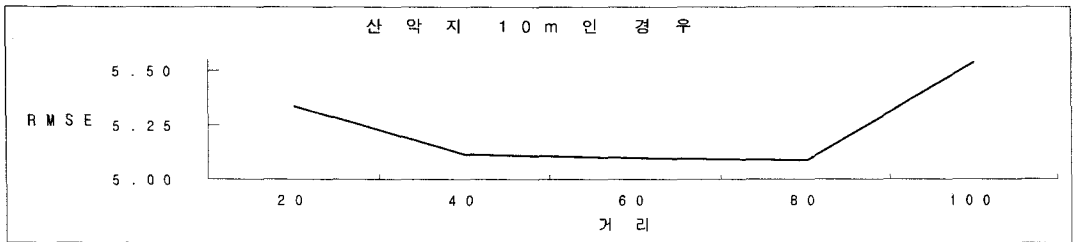
1) 격자간격 30m에 대한 실험결과

농경지에 대해서는 격자크기를 30m로 DEM을 구축하였을 때 결과가 가장 좋았으며, 기지점의 수를 고려할 때는 기지점 수가 30점에서부터 급격히 좋아지는 것을 볼 수 있고, 거리를 고려할 때는 일정한 패턴이 없는 것으로 나타났으나 격자간격 30m에서는 기지점 선정거리 20m에서 가장 좋은 결과를 보였다.

〈표 9〉 거리에 따른 RMSE

(단위 : m)

거 리	20m	40m	60m	80m	100m
평 균 잔 차 (절대값)	4.125	4.022	4.003	4.015	4.337
RMSE	5.336	5.115	5.099	5.087	5.538
최대잔차(+)	8.903	5.663	5.594	7.735	16.471
최대잔차(-)	-17.863	-16.906	-16.903	-16.901	-16.418

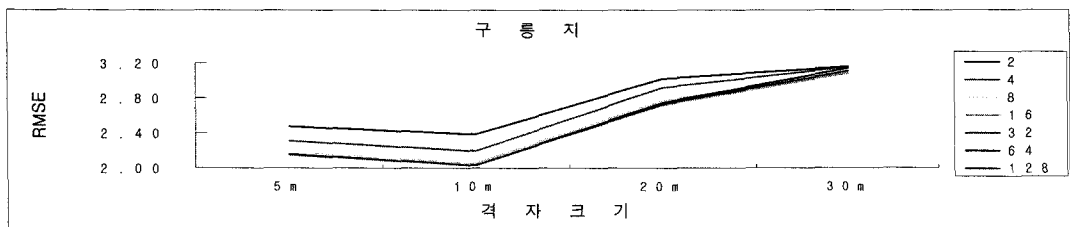


〈그림 7〉 거리에 따른 RMSE 관계곡선(단위 : m)

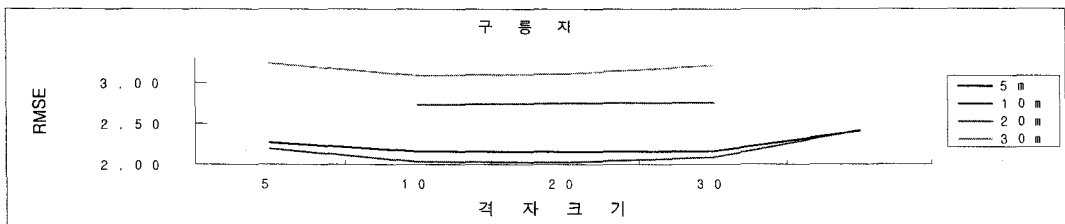
〈표 10〉 기지점 수에 대한 격자별 RMSE

(단위 : m)

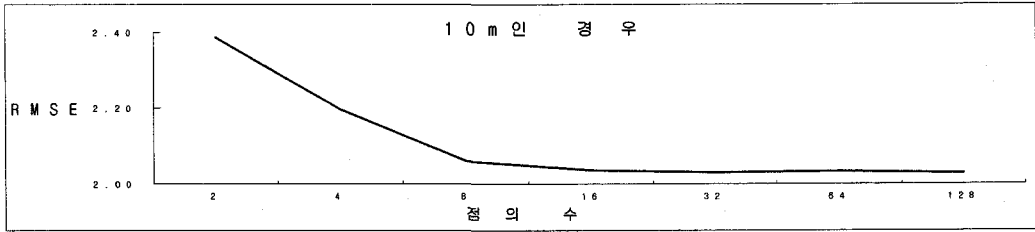
	2점	4점	8점	16점	32점	64점	128점
5m	2.479	2.313	2.181	2.156	2.154	2.157	2.154
10m	2.386	2.198	2.060	2.036	2.030	2.033	2.029
20m	3.020	2.922	2.775	2.716	2.731	2.752	
30m	3.163	3.156	3.083	3.085	3.113	3.143	



〈그림 8〉 기지점 수에 따른 격자별 RMSE 관계곡선(단위 : m)



〈그림 9〉 거리에 따른 격자별 RMSE 관계곡선(단위 : m)



〈그림 10〉 기지점 수에 따른 RMSE 상관관계(단위 : m)

〈표 11〉 거리에 대한 격자별 RMSE

(단위 : m)

격자간격 \ 거리	20m	40m	60m	80m	100m
5m	2.272	2.161	2.154	2.165	2.416
10m	2.196	2.035	2.027	2.088	2.422
20m		2.728	2.750	2.756	
30m	3.236	3.089	3.109	3.209	

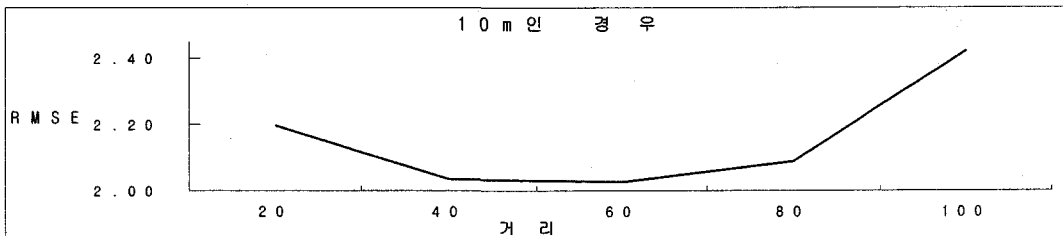
〈표 12〉 기지점 수에 따른 RMSE

기지점 수	2점	4점	8점	16점	32점	64점	128점
평균잔차 (절대값)	1.834	1.656	1.556	1.528	1.508	1.507	1.503
RMSE	2.386	2.198	2.060	2.036	2.030	2.033	2.029
최대잔차(+)	7.223	5.623	5.653	5.224	6.143	6.626	6.501
최대잔차(-)	-7.703	-7.792	-7.712	-7.670	-7.713	-7.758	-7.756

〈표 13〉 거리에 따른 RMSE

(단위 : m)

거리	20M	40M	60M	80M	100M
평균잔차 (절대값)	1.685	1.532	1.510	1.545	1.815
RMSE	2.196	2.035	2.027	2.088	2.422
최대잔차(+)	5.420	5.173	6.323	7.366	8.877
최대잔차(-)	-7.779	-7.672	-7.697	-7.675	-7.759



〈그림 11〉 거리에 따른 RMSE 관계곡선(단위 : m)

〈표 14〉 기지점 수에 대한 격자별 RMSE

(단위 : m)

	2점	4점	8점	16점	32점	64점	128점
5m	1.210	1.194	1.142	1.098	1.100	1.077	1.056
10m	1.198	1.173	1.135	1.087	1.086	1.056	1.045
20m	0.952	1.185	1.139	1.095	1.100	1.075	1.055
30m	1.123	1.088	1.041	1.005	0.980	0.964	0.953

〈표 15〉 거리에 대한 격자별 RMSE

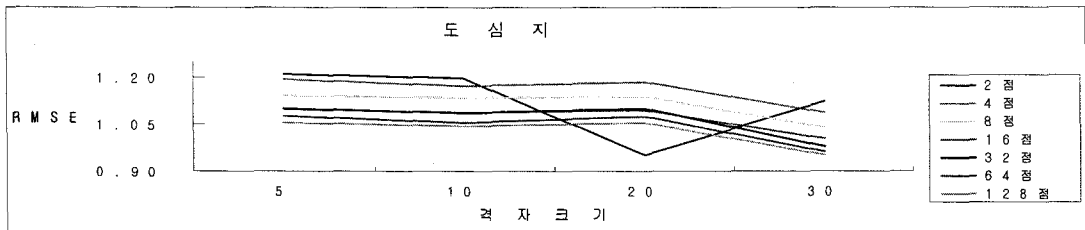
(단위 : m)

	20m	40m	60m	80m	100m	120m
5m	0.957	1.133	1.150	1.087	1.048	1.037
10m	0.957	1.133	1.150	1.087	1.048	1.009
20m	0.957	1.133	1.150	1.087	1.049	1.037
30m		0.945	1.089	0.999	0.970	0.919

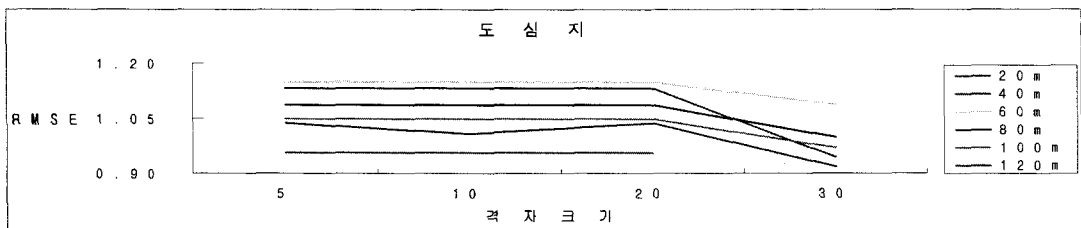
〈표 16〉 기지점 수에 따른 RMSE

(단위 : m)

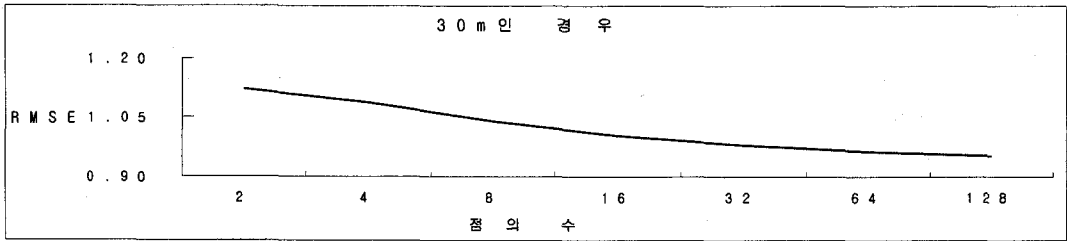
기지점 수	2점	4점	8점	16점	32점	64점	128점
평균잔차 (절대값)	0.827	0.806	0.738	0.764	0.741	0.732	0.725
RMSE	1.123	1.088	1.041	1.005	0.990	0.964	0.953
최대잔차(+)	3.567	3.567	3.555	3.555	3.449	3.450	3.450
최대잔차(-)	-3.074	-2.409	-2.025	-2.025	-2.025	-1.849	-1.883



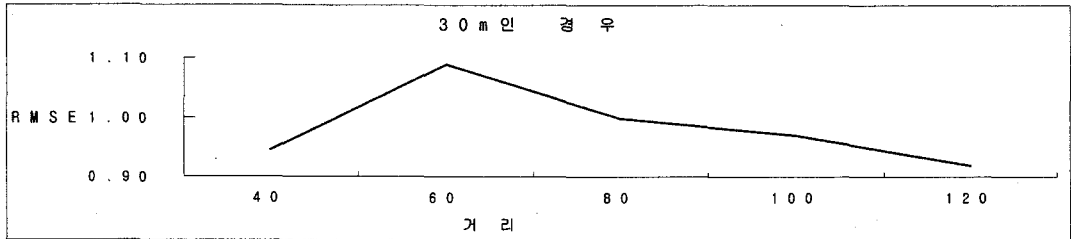
〈그림 12〉 기지점 수에 따른 격자별 RMSE 관계곡선(단위 : m)



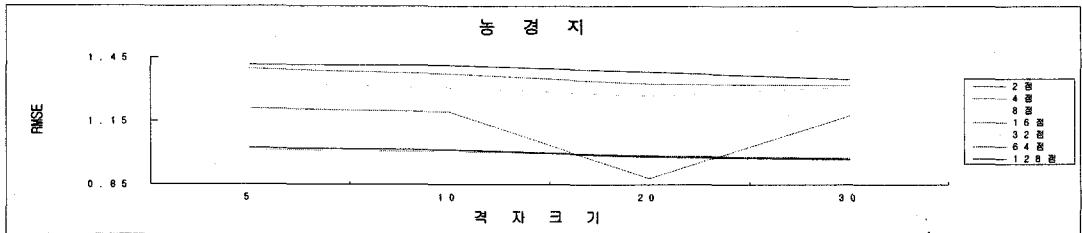
〈그림 13〉 거리에 따른 격자별 RMSE 관계곡선(단위 : m)



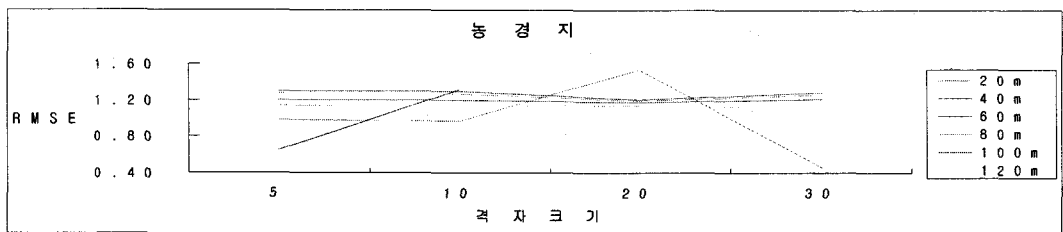
〈그림 14〉 기지점 수에 따른 RMSE 관계곡선(단위 : m)



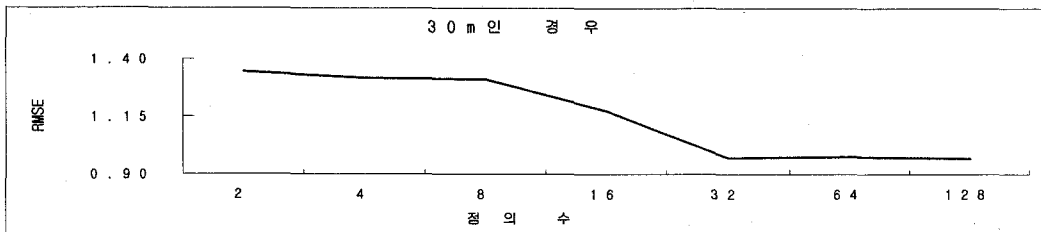
〈그림 15〉 거리에 따른 RMSE 관계곡선(단위 : m)



〈그림 16〉 기지점 수에 따른 격자별 RMSE 관계곡선(단위 : m)



〈그림 17〉 거리에 따른 격자별 RMSE 관계곡선(단위 : m)



〈그림 18〉 기지점 수에 따른 RMSE 관계곡선(단위 : m)

〈표 17〉 거리에 따른 RMSE

(단위 : m)

거 리	20M	40M	60M	80M	100M	120M
평균잔차 (절대값)		0.718	0.816	0.758	0.729	0.689
RMSE		0.945	1.089	0.999	0.970	0.919
최대잔차(+)		3.451	3.567	3.555	3.555	3.141
최대잔차(-)		-2.002	-2.002	-2.025	-2.025	-1.849

〈표 18〉 기지점 수에 대한 격자별 RMSE

(단위 : m)

	2점	4점	8점	16점	32점	64점	128점
5m	1.415	1.395	1.329	1.208	1.012	1.020	1.020
10m	1.411	1.370	1.307	1.193	1.004	1.013	1.013
20m	1.383	1.324	1.269	0.879	0.989	0.987	0.979
30m	1.346	1.317	1.312	1.176	0.971	0.976	0.969

〈표 19〉 거리에 대한 격자별 RMSE

(단위 : m)

	20m	40m	60m	80m	100m	120m
5m	0.979	0.649	1.299	0.273	1.197	1.134
10m	0.966	1.318	1.294	1.269	1.198	1.144
20m	1.540		1.207	1.190	1.176	1.133
30m	0.456	1.313	1.286	1.258	1.208	1.115

〈표 20〉 기지점 수에 따른 RMSE

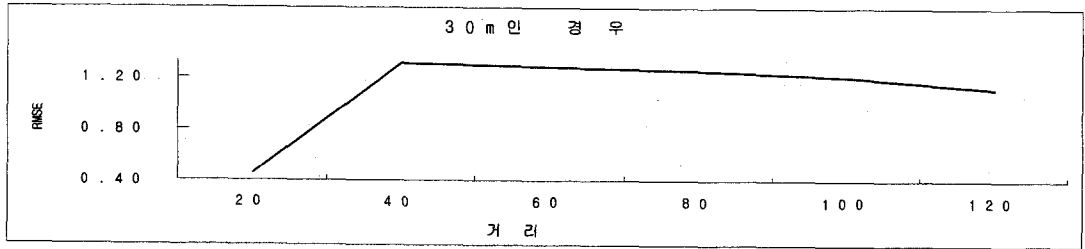
(단위 : m)

기지점 수	2점	4점	8점	16점	32점	64점	128점
평균잔차 (절대값)	0.943	0.930	0.926	0.822	0.699	0.698	0.692
RMSE	1.346	1.317	1.312	1.176	0.971	0.976	0.969
최대잔차(+)	4.319	4.319	4.319	4.018	3.874	3.876	3.876
최대잔차(-)	-3.175	-3.175	-3.175	-3.175	-2.322	-2.346	-2.414

〈표 21〉 거리에 따른 RMSE

(단위 : m)

거 리	20M	40M	60M	80M	100M	120M
평균잔차 (절대값)	0.048	0.894	0.877	0.885	0.878	0.812
RMSE	0.456	1.131	1.286	1.258	1.208	1.115
최대잔차(+)	0.953	4.319	3.875	3.874	3.876	3.876
최대잔차(-)	-0.419	-2.998	-3.175	-3.175	-2.998	-2.653



(그림 19) 거리에 따른 RMSE 관계곡선(단위 : m)

5. 결론

우리나라 지형의 경우 전국토의 70%가 산악지와 구릉지로 되어 있으며, 나머지 지역은 농경지와 도심지 등으로 구성되어 있다. 기존의 수치표고모형 관련 연구에서는 이러한 지형의 특색이 배제되었거나, 일부 특성을 가진 지역만을 대상으로 연구한 사례만 존재하였다. 본 연구에서는 우리나라의 여러 지형적 특성에 적합한 수치표고모형을 제시하기 위하여 다양한 보간 방법과 격자크기의 DEM을 구축한 후 비교 분석하였다.

지형적 특성에 적합한 보간 방법을 비교·분석한 결과, Kriging 방법이 모든 지형에서 TIN 방법에 비하여 우수하게 나타났다. 특히 산악지와 구릉지에서는 월등한 효과를 보여주었으며, 도심지와 농경지에서는 보간 방법에 따라 약간의 차이를 보여 주었다. 그 이유는 도심지와 농경지는 원시자료인 1/5,000 수치지도에 기지점이 충분히 존재하지 않을 뿐만 아니라 지형의 변화가 없기 때문에 보간 방법에 따라 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

지형특성별로 격자크기를 실험한 결과, 산악지와 구릉지에서는 10m 격자간격으로 수치표고모형을 구축할 경우에 가장 좋은 결과를 나타내었는데, 이 때 보간 조건으로는 기지점 수가 32점, 기지점 선정거리가 60m일 경우에 가장 좋은 결과를 보여주었다. 반면 도심지와 농경지의 경우는 30m 격자크기로 구축할 때 결과가 가장 좋았으나, 격자간격에 따른 정확도의 차이가 산악지나 구릉지에 비해 그다지 크지 않았다. 이 때 보간 조건으로는 기지점 수가 32점부터 많을수록 결과가 현격히 좋았고, 기지점 선정거리는 20m에서 가장 좋은 것으로 나타났다. 단 20m로 할 경우 한계 거리 내에 기지점이 존재하지 않아 보간이 이루어지지 않는 경우도 있었다. 이상의 결과를 정리해보면 특히 도심지나 농경지는 실험 결과에 대한 패턴이 일정하지

도 않고, 격자간격에 따른 정확도의 차이도 크지 않았으며, 심지어는 보간이 이루어지지도 않는 경우가 있었다. 이것은 수치지형도에서 도심지나 농경지와 같이 평지에 대해서는 표고자료가 턱없이 부족해서 나타나는 것으로서 수치지형도를 이용해 제작한 DEM의 의미를 갖기 위해서는 적어도 평지에 대해서는 표고자료의 보완이 반드시 이루어져야 할 것으로 여겨진다.

따라서 본 연구의 결과를 종합해 보면 DEM을 구축할 경우에 산악지나 구릉지는 10m 격자간격으로, 그리고 도심지나 농경지는 30m 격자간격으로 DEM을 구축하는 것이 가장 적합하다는 결론을 얻었다. 그러나 이것은 국지적인 지역에서 지역특성에 맞게 적합한 격자간격을 선택하여 DEM을 구축할 때 의미를 지니며, 전국적 규모의 국가 DEM을 구축할 때에는 지형특성에 따라 DEM의 격자를 달리한다는 것은 큰 의미가 없을 것이다. 따라서 국가 DEM을 구축할 경우에는 Kriging 보간 방법을 사용하여 10m 격자간격으로 구축하고, 특정 지역만을 대상으로 DEM을 구축할 경우에는 역시 마찬가지로 Kriging 보간 방법을 사용하여 지형적 특색에 따라 30m(도심지, 농경지) 혹은 10m(산악지, 구릉지)의 격자간격으로 제작하는 것이 효과적일 것이다.

참고 문헌

- [1] 국립지리원, "국가고도자료 구축연구 (I)", 1998
- [2] 국립지리원, "국가고도자료 구축연구 (II)", 1999
- [3] 국토연구원, "공간영상정보 제작지침 연구", 2000
- [4] 국토연구원, "공간영상정보 제작", 2000
- [5] 김계현, "GIS 개론", 대영사, 1998
- [6] 김상현, "인공배수유역에서의 TOPOMODEL의 적용", 한국수자원학회지 30권 5호, 1997, pp539~548
- [7] 이규성, "점 관측 기후인자의 공간자료 변환과 응

- 용”, The 6th 96 GIS Workshop 캐드랜드, 1996
- [8] 정상대, “Kriging 보간법을 이용한 수치지형해석의 정확도 향상에 관한 연구”, 연세대학교 석사학위 논문, 1989
- [9] 황철수, “DEM의 오차 평가방법에 관한 연구”, 한국지형정보학회논문집 7권 2호, pp 23~34
- [10] 최병길, “수치지형의 보간방법에 관한 연구”, 한양대학원 석사 학위 논문, 1986
- [11] 조규전외2인, “정규격자 수치고도모델의 생성과 정확도 분석에 관한 연구”, 한국측지학회지 16권 1호, pp. 119~132
- [12] Brown, D G and Bara, T J, Recognition and reduction of systematic error in elevation and derivative surfaces from 7.5 minute DEMs. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 60(2)), 1994, pp. 189 - 194.
- [13] David Glover, Objective Mapping and kriging, <http://kopernik.who.edu/12.747/notes/lect02/105s02.htm> 1~105s05:html
- [14] Lenzen, T W and Foresman, T W (1993), Digital image databases support GIS operations. GIS World, November 1993, 36 - 38.
- [15] Li, Z, Mathematical models of the accuracy of digital terrain model surfaces linearly constructed from least square gridded data. Photogram Record, 14 (82), 1993, pp. 661 - 674.
- [16] Lodwick, G.D. and Paine, S.H., A digital elevation model of the Barnes ice-cap derived from Landsat MSS data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51, 12, 1985, 1937-1944.
- [17] Robinson, G J, The accuracy of digital elevation models derived from contour data. Photogrammetric Record, Vol.(14)83, 1994, pp. 805 - 814.
- [18] U. S. Geological Survey, Standards for Digital Elevation Models: National Mapping Program Technical Instruction, 1992



우 제 윤

1980년 연세대학교 토목공학과 공학사 졸업
 1982년 연세대학교 토목공학과 공학석사 졸업
 1989년 연세대학교 토목공학과 공학박사 졸업

1992년 Texas at Austin 토목공학과 박사후과정 (Post Doc.)
 1990년8월-1992년9월 텍사스 오스틴대학부설 지반공학연구소 연구원
 1987년1월-1996년8월 한국건설기술연구원 수석연구원
 1996년8월-1999년2월 건설교통부 장관자문관
 1999년2월-현재 한국건설기술연구원 수석연구원



구지희

2001 서울대학교 농업생명과학대학원 공학박사 졸업
 2002-현재 한국건설기술연구원 GIS사업단장
 관심분야 : GIS기술을 응용한 건설업무 효율화



홍창희

1997년 인하대학교 이과대학 생물학과 이학사 졸업
 1999년 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 공학석사 졸업
 1999년 8월 - 1999년 10월 인하대학교 지리정보공학연구소 인턴연구원
 1999년 10월 - 현재 한국건설기술연구원 GIS사업단 연구원

관심분야 : GIS기술의 건설분야 응용



김태훈

1994년 당곡고등학교 졸업
 2000년 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 공학사 졸업
 2002년 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 공학석사 졸업
 2002년 2월-현재 한국건설기술연구원 GIS사업단 연구원

관심분야 : GIS기술의 건설분야 응용