

## 격자화 기법에 따른 이산지형정보의 보간특성 연구

A Study on the Interpolation Characteristics of the Scattered Geographic Data according to the Gridding methods.

이 용 창\*

Lee, Yong Chang

### 要 旨

격자화 자료변환에서는 격자절점의 보간과정에서 경중률을 산정하는 수학적 알고리즘과 이산 자료의 특성에 따라 격자화 기법들간에 상이한 보간결과를 제시하므로 격자화기법의 최종선택에 앞서 탐색거리, 탐색영역, 탐색옵션에 따른 격자화기법들의 사전 검토가 요망된다. 이를 위해 본 연구에서는 해석 입체도화기로부터 획득한 이산지형정보에 6가지 격자화기법을 동일한 검색기준에 따라 적용하고 원자료의 보존성 및 입체도화기로부터 제작된 등고선도와의 비교를 통하여 격자화 기법에 따른 3차원 이산지형정보의 보간특성을 고찰하였으며 아울러 격자화된 DEM의 임의 중단방향에 대한 단면선형의 검토 및 토공량 산정을 통하여 격자화기법의 실 응용면도 고찰하였다.

### ABSTRACT

In a grid based data transformation, the different gridding methods provide different interpretations of scattered data because each method calculate grid node values using a different weighted mathematical algorithms. Therefore, it is necessary to review the interpolated characteristics of some gridding methods according to search distance, search area and search options before determining the best method with a data set. For this, in this paper, six different gridding methods with the same search conditions are applied to a scattered data obtained from stereo-plotter. The interpolated characteristics of the scattered geographic data considered through comparison of coincidence between the data point and the grid node being interpolated. And also, shows the real application of gridding methods through calculating volumes and creating cross sections.

### 1. 서 론

3차원 수치지형정보의 자료구조변환은 지도제작, 지형분석, 3차원 모델링 등과 같은 수치해석에 기초자료를 제공하는 매우 중요한 변환과정이다. TIN 자료변환(point-to-TIN)의 경우는 간격이 불규칙한 원초자료를 직접 활용하는 반면, 격자화 자료변환

(point-to-grid)에서는 격자절점의 보간 과정에 적용되는 경중률의 산정 알고리즘 및 smooth 변수의 지정여부에 따라서 자료의 보존성을 높이기 위한 Exact 보간과 이웃하는 자료점간의 변화를 최소화 시키는 Smooth 보간으로 나뉘는 다양한 기법들이 제시되어 왔고) 특히, 수준측량, 중력측량, 지자기측량, 지형도의 수치화 작업, 항공사진측량, GPS 관측 및 원격탐사로

\* 시립 인천전문대학 토목과 조교수

부터 획득된 각종 이산측점자료를 격자화된 절점자료로 변환시켜 수치표고모형, 중력이상 및 지자기이상 모형, 지오이드고 모형 및 지구중력장 모형을 효율적으로 구축할 수 있는 기초자료를 제공하므로써 측지분야에서 그 응용성이 입증되고 있다.2~6)

그러나, 각 격자화 기법들은 서로 다른 알고리즘을 통하여 절점값을 산정하므로 보간후 절점값이 본래 위치의 원자료값과 차이가 있거나 동일 기법이라도 이산자료의 내·외적특성 및 절점자료산정을 위한 탐색조건(거리, 영역, 옵션)에 따라 상이한 보간특성을 제시하게 된다. 따라서, 임의 이산자료에 적합한 격자화 기법을 선정하기 위해서는 기법의 최종선정에 앞서 형성될 격자화 자료가 갖는 특성을 원자료의 보존성(exacting)에 들지 혹은 표면의 매끈성(smoothing)을 중시할 것인지의 방향설정과 탐색조건을 수립하여 격자화 기법들에 대한 사전 검토가 요망된다.

본 연구에서는 해석 입체도화기로부터 획득한 이산지형정보의 격자화 자료변환에 적합한 격자화기법을 선정하기 위하여 Exact 보간7)에 비중을 두고 우선, 동일한 탐색옵션하에 이산자료의 외적특성에 맞는 탐색거리와 탐색방향을 결정한 다음 격자화 기법별로 동일한 경중률을 적용하여 격자화된 자료를 구축하고 원자료의 보존성에 비중을 두어 기법별 보간특성을 비교검토하였다. 또한, 가시화 도면의 작성, 기법별 종단선형의 검토 및 토공량 산정을 통한 토목분야에서 격자화 자료변환의 응용면도 고찰하였다. 각 기법들의 수학적 알고리즘은 참조문헌으로 대신하였다.8~12)

## 2. 연구방법

본 연구에서는 원자료의 보존성에 비중을 두고 격자화기법에 따른 보간특성을 고찰하기 위하여 시험자료로서 서산지역내 3km×2km의 임의 지역을 모델로 선정하고 항공사진을 이용하여 해석도화기로 부터 3차원 이산지형정보를 획득하였으며 또한, 5m 간격의 등고선도를 작성하였다.

이산지형정보로 부터 격자화된 자료를 구축하기 위해

Inverse Distance, Kriging, Radial Basis Function, Shepard기법과 순수 smoothing 기법인 Minimum Curvature 및 Polynomial Regression의 6가지 격자화 기법을 선정하였다. 모델지역내 이산자료의 보간에 적합한 검색거리와 검색영역(Simple, 4상한, 8상한 및 All)을 결정하기 위한 사전과정으로 보간시간이 짧고 여러 매개변수를 갖는 Inverse Distance 방법을 사용하여 동일한 검색옵션하에 격자절점의 개수, 보간자료와 원자료와의 편차분석 및 임의 방향에 대한 종단선형을 검토하고 검색거리와 검색영역을 선정한다. 선정된 검색조건을 보간기법별로 시험자료에 동일하게 적용, □5m, □10m, □15m 및 □30m 격자의 수치표고모형(DEM)을 구성하고 원자료와 보간자료간의 표준편차, 최소편차와 최대편차 및 격자화에 소요되는 시간을 비교분석하여 기법별 원자료의 보존성을 검토한다. 특히, 격자화된 DEM를 토대로 2차원 및 3차원 가시화 도면을 작성하고 입체도화기로 제작된 등고선도와 비교하며 아울러 임의 방향에 대한 종단면도의 작성 및 토공량 산정을 통하여 토목분야에서 격자화 자료구조변환의 실 응용면도 고찰한다.

## 3. 이산지형정보획득

그림 3.1은 서산지역내 3km×2km의 임의지역에 대한 축척 1/20,000 항공사진 필름을 Leica 사의 SD2000 해석도화기에 장착하고 내부표정, 상호표정 및 절대표정을 통하여 평균표고 5m 간격으로 획득한 총 77,070 측정점의 3차원 이산지형정보를 도시한 것이다.

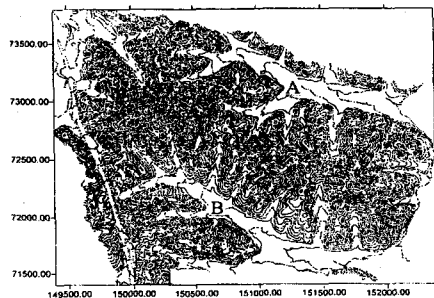


그림 3.1 시험지구의 이산지형정보 분포

#### 4. 결과의 비교분석

##### 4.1 검색거리와 검색영역의 결정

이산자료의 보간을 위해서는 자료에 적합한 검색거리와 검색영역을 사전에 결정해야 한다.

을 취하여 검색거리를 10m, 30m, 50m, 100m, 300m 및 500m로 변화시킬 때의 Inverse Distance 격자화기법에 의한 보간결과를 나타낸다. 격자점수는 4가지 격자에서 격자점수와 표준편차는 공통적으로 10m에서 30m 50m로 점차 증가됨에 따라 격자점수도 증가되고 원자료와의 편차도 작게 나타난 반면, 50m 이상의

표 4.1 격자크기별 검색거리에 따른 보간분석 (Inverse distance., 4상한, PC 133MHz pentium)

격자크기별 비 교 항 목		검색거리					
		10m	30m	50m	100m	300m	500m
30m×30m	격자점수(개)	19,067	76,424	76,942	76,942	76,942	76,942
	표준편차(m)	2.112	2.093	2.095	2.095	2.095	2.095
	시 간	25"	12"	17"	23"	1' 18"	3' 23"
15m×15m	격자점수(개)	29,432	76,996	77,008	77,008	77,008	77,008
	표준편차(m)	1.005	1.055	1.055	1.055	1.054	1.055
	시 간	11"	48"	1' 7"	1' 35"	5' 1"	30'
10m×10m	격자점수(개)	41,194	77,002	77,015	77,015	77,015	77,015
	표준편차(m)	0.650	0.757	0.755	0.755	0.755	0.755
	시 간	25"	1' 47"	2' 29"	3' 33"	10'57"	30'
5m × 5m	격자점수(개)	50,102	77,012	77,022	77,022	77,022	77,022
	표준편차(m)	0.304	0.405	0.403	0.403	0.403	0.403
	시 간	1' 36"	7' 8"	9' 53"	14' 5"	43' 33"	1h 15'

특히, 격자절점의 개수와 원자료의 보존성은 상호 비례관계가 있으나 절점수가 증대될 경우, 격자화에 소요되는 시간이 증가되므로 본 연구에서는 원자료의 보존성에 비중을 두고 격자점의 개수, 원자료와 보간자료의 편차해석 및 중단선형을 종합적으로 검토하여 검색거리와 검색영역을 선정하였다.

표 4.1은 정방형 단위격자를 □5m (597×491 lines), □10m (300×240 lines), □15m (200×160 lines) 및 □30m (100×81 lines)로 선정하고 임의 격자점을 중심으로 검색영역을 4상한(7)으로 나누어 상한당 자료수를 6개, 전상한의 최소자료수를 5개로 하는 검색옵선

검색거리에서는 50m의 경우와 동일한 결과를 나타내고 있는데 이는 격자절점으로 부터 거리가 멀어짐에 따라서 0에 가까운 경중률이 주변자료에 적용되는 관계로 해석되므로 격자점의 개수가 최대이면서 원자료와의 표준편차가 작게 나타나는 50m를 외형적으로는 1차 검색거리로 선정할 수 있었다. 그러나 그림 3.1에서와 같이 자료의 밀도가 작은 표고차 5m 이하인 지역(A 및 B 부분)을 통과하는 임의 대각선방향(그림 4.4 참조)에 대한 중단선형을 6가지 기법별로 검색거리 50m, 검색영역 "4상한"의 조건에서 작성하면 그림 4.1와 같이 수치자료가 부족한 부분에서 원 자료와 큰

격자화 기법에 따른 이산지형정보의 보간특성 연구

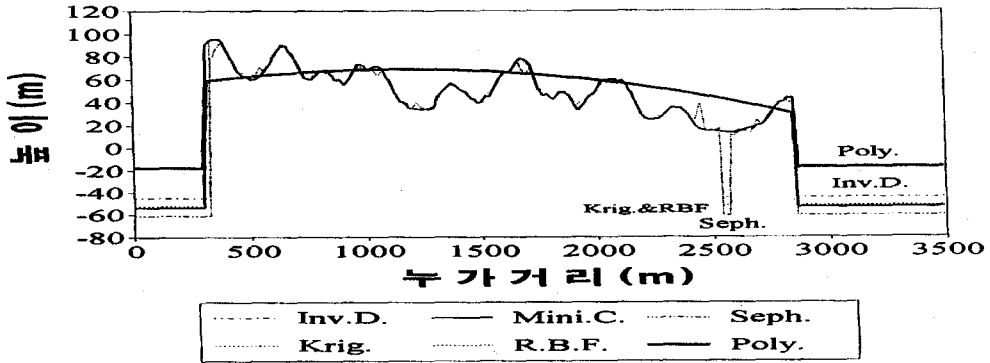


그림 41 대각선방향의 종단선형 (□15m, 검색거리 50m)

탐색거리 누가거리	50m	60m	80m	90m	100m	300m
2529m	15.00	15.00	14.69	14.69	14.64	14.64
2540m	-44.80	15.00	13.88	13.89	13.89	13.89
2546m	-44.80	-44.80	13.45	13.45	13.45	13.45
2559m	-44.80	10.00	12.37	12.37	12.37	12.37
2561m	-44.80	10.00	12.17	12.17	12.17	12.17
2570m	-44.80	10.00	11.60	11.60	11.60	11.60
2579m	10.87	11.07	11.63	11.89	11.93	11.93

표 42 대각선방향의 검색거리별 누가거리에 대한 보간표고 (단위 : m)

격자크기 검색영역	30m × 30m			15m × 15m		
	격자개수(개)	표준편차(m)	시 간	격자 개수	표준편차(m)	시 간
Simple	76,942	2.097	15"	77,008	1.055	1' 6"
4 상한	76,942	2.095	2.5"	77,008	1.055	1' 7"
8 상한	76,887	2.118	19"	76,987	1.078	1' 17"
All	76,942	7.096	1h 38'	77,008	6.169	7h 5'
격자크기 검색영역	10m × 10m			5m × 5m		
	격자개수(개)	표준편차(m)	시 간	격자 개수	표준편차(m)	시 간
Simple	77,015	0.831	2' 15"	77,022	0.471	8' 58"
4 상한	77,015	0.755	1' 47"	77,022	0.403	9' 53"
8 상한	77,001	0.768	2' 51"	77,003	0.402	11' 18"
All	77,015	5.531	16h 7'	.	.	.

표 43. 격자크기에 대한 검색영역별 격자점의 개수 및 표준편차 (Inv.Dist. 검색거리 90m, PC 133MHz pentium)

편차를 나타내고 있다. 따라서 자료의 밀도가 작은 부분까지 수렴할 수 있는 검색거리를 선정하기 위하여 거리를 재차 증가시켜 가면서 표고의 변화를 고찰한 결과, 표 4.2 와 같이 표고의 변화가 수렴된 90m를 본 시험자료의 검색거리로 결정할 수 있었다.

표 4.3은 검색영역을 선정하기 위해 격자크기별로 Simple, 4상한, 8상한 및 All의 4가지 영역을 선정하고 검색거리를 90m로 적용하여 격자크기에 따른 영역별 격자점의 개수와 표준편차 및 격자화 소요시간을 산정한 것이다. 특히, 영역별 검색속선은 전체상한의 최소자료수를 5개로 동일하게 선정하였고 상한당 검색자료수는 전체영역을 사용하는 All상한을 제외하고는 Simple, 4상한 및 8상한 영역에서 각각 24개, 6개 및 3개의 동일한 비율로 선정하였다. 4가지 격자크기에 대해서 검색영역별 격자개수는 공통적으로 8상한에서 가장 적게 나타났고 다른 영역들에서는 격자크기별로 동일한 격자수를 구성하였다. 원자료와의 편차는 All상한의 경우 격자크기가 좁아짐에 따라서 편차는 작아 지지만 상대적으로 격자화 변환에 소요

되는 시간이 급격히 증대되어 비 효율적인 반면, 다른 세가지 상한에서는 All상한에 비해 월등히 작은 편차 분포를 나타내고 있다. 따라서, 세가지 상한중에서 격자개수가 최대이면서 원자료와의 편차 및 소요시간이 최소인 경우를 본 이산지형정보의 검색영역조건으로 선정할 경우, 4 종류의 격자크기에서 공통적으로 수렴조건에 만족되는 “4 상한”을 검색영역으로 선정할 수 있었다.

4.2 격자화기법에 따른 원자료의 보존성 검토

표 4.4 및 표 4.5는 시험자료에 검색거리 90m, 검색영역 4상한의 검색조건을 6가지 격자화기법에 동일하게 적용하고 4 종류의 격자크기별로 격자점에서 원자료와 보간된 자료와의 표준편차 및 최소편차와 최대 편차를 나타낸 것이다. 이를 도시하면 그림 4.2, 그림 4.3 와 같다.

표 4.4 격자화기법에 따른 격자크기별 원자료와의 표준편차 (단위 : m)

격자크기 격자화 기법	30m×30m	15m×15m	10m×10m	5m×5m
Inverse distance	2.095	1.055	0.755	0.403
Kriging	1.945	0.808	0.484	0.198
Minimum curvature	2.184	1.038	0.806	0.423
Radial Bases Function	1.946	0.808	0.484	0.199
Shepard's Method	2.830	1.765	1.343	0.698
Polynomial Regression	17.348	17.348	17.348	17.348

표 4.5 격자화기법에 따른 격자크기별 최소 및 최대편차 (단위 : m)

격자크기 별 격자화 기법편차	30m×30m		15m×15m		10m×10m		5m×5m	
	최 소	최 대	최 소	최 대	최 소	최 대	최 소	최 대
Inverse distance	-10.526	9.439	-5.570	4.904	-5.617	3.828	-3.897	2.378
Kriging	-10.703	9.466	-6.074	4.730	-3.474	2.677	-1.742	1.294
Minimum curvature	-10.403	9.307	-5.271	5.835	-4.888	4.189	-2.428	2.379
Radial Bases Function	-10.703	9.466	-6.074	4.730	-3.474	2.677	-1.742	1.294
Shepard's Method	-16.714	10.999	-9.535	8.296	-8.908	7.301	-5.718	4.231
Polynomial Regression	-43.238	62.638	-43.238	62.638	-43.238	62.638	-43.238	62.638

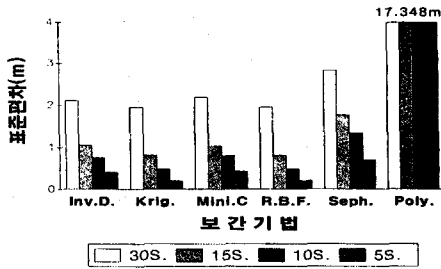


그림 4.2 격자화기법에 따른 격자크기별 표준편차

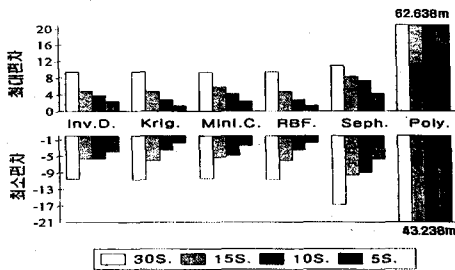


그림 4.3 격자화기법에 따른 격자크기별 최소·대편차

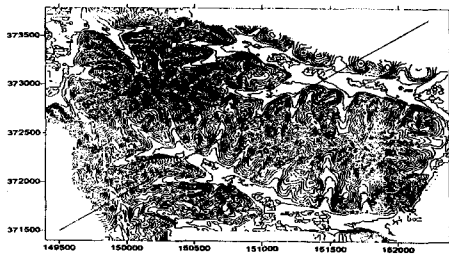


그림 4.4 등고선도 (Kriging 보간, □15m, 검색거리 90m)

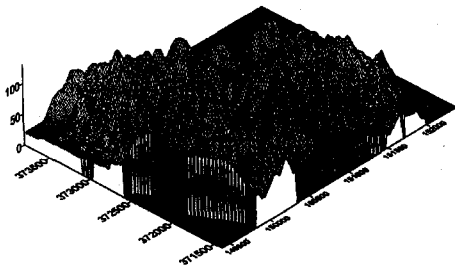


그림 4.5 3차원 투시도 (Kriging 보간, □15m, 검색거리 90m)

Polynomial Regression를 제외한 5가지 격자화기법에서는 공통적으로 격자크기가 좁아짐에 따라서 원자료의 보존성이 점차 양호한 분포를 보이며 또한, 최대 및 최소의 편차폭도 점차 줄어드는 경향을 나타내었다. 특히, 순수 smoothing 기법에 속하는 Minimum Curvature 기법은 같은 부류의 Polynomial Regression 기법과는 달리 매우 양호한 경향을 나타내고 있다. 비교적 다른 격자화기법들에 비해 양호한 원자료의 보존성을 나타내고 있는 Kriging( $P = Ch$ )과 Radial bases function( $P = \sqrt{h^2 + R^2}$ ) 기법은 4가지의 격자크기에서 같은 크기의 표준편차와 편차폭을 제시하는데 이는 두 경중률( $P$ )모델에서  $C = 1, R^2 = 0$ 인 경우(7,8), 동일한 크기의 경중률이 적용되기 때문으로 해석된다. 그리고 격자크기의 선정문제는 요구되는 정밀도 및 사용자의 필요성에 따라서 선정될 수 있는 사항이므로 본 연구에서는 제외하였다.

그림 4.4 및 그림 4.5은 원자료의 보존성이 양호한 Kriging 보간법의 보간결과를 2D 및 3D로 나타낸 것으로 등고선도는 대체로 해석도화기로 부터 획득한 그림 3.1의 원자료 분포와 매우 유사함을 알 수 있었다.

#### 4.3 보간기법별 종단선형 및 토공량 산정

그림 4.6은 그림 4.4의 임의의 대각선 방향에 대한 종단면을 보간기법별로 도시한 것이다. Polynomial regression 기법은 대각선방향 지형의 전체적인 경향을 나타내고 있는 반면, Kriging 및 Radial basis function은 동일한 경중률이 적용된 관계로 두 종단선형이 일치되어 나타났다. Shepard 기법의 경우는 대각선 방향, 전 구간에서 부분적으로 돌출되는 형상을 특히, Polynomial regression 기법을 제외한 5가지 기법에서는 공통적으로 그림 4.1과 같이 자료의 밀도가 작은 부분에서 발생하는 공백부의 과대편차가 보정되어 본 연구에서 선정된 검색거리 90m의 적합성을 입증해 주고 있다.

표 4.6은 6가지의 격자화기법으로 부터 산정된 보간

표 4.6 보간법에 따른 격자크기별 절토량 (단위 : ×E07 m3 ± σ)

보간법 격자크기	Inv.Dist.	Kriging	Mini.C.	R.B.F.	Shepard	Poly.
5m × 5m	2.190 ± 0.054	2.137 ± 0.056	1.446 ± 0.174	2.137 ± 0.056	2.530 ± 0.050	4.195 ± 0.031
10m × 10m	2.187 ± 0.144	2.134 ± 0.168	1.483 ± 0.380	2.134 ± 0.168	2.532 ± 0.193	4.194 ± 0.068
15m × 15m	2.192 ± 0.131	2.139 ± 0.146	1.679 ± 0.160	2.139 ± 0.146	2.531 ± 0.072	4.193 ± 0.059
30m × 30m	2.163 ± 1.450	2.114 ± 1.509	1.492 ± 1.339	2.114 ± 1.509	2.518 ± 1.485	4.178 ± 0.178
평균 값	2.190 ± 0.366	2.137 ± 0.381	1.536 ± 0.404	2.135 ± 0.381	2.528 ± 0.375	.

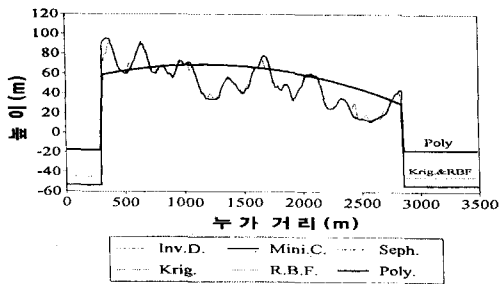


그림 4.6 기법별 중단선형 (□15m, 90m)

격자에 기준고를 45m로 취하고 Trapezoidal, Simpson 및 Simson 3/4 공식을 이용하여 산출한 평균 토공량과 표준오차를 나타낸 것이다. 산출된 토공량의 신뢰도면에서는 Inverse distance, Shepard, Kriging 및 Radial basis function, Minimum curvature 순으로 양호하게 나타났고 편차가 큰 Minimal curvature 및 Polynomial regression의 성과를 제외한다면, 4가지 기법에서 평균 2.249 E07 m3 정도의 절토량이 산정될 수 있을 것으로 사료된다.

### 5. 결 론

해석도화기로 부터 획득한 3차원 이산지형정보에 6가지의 격자화기법을 적용하고 원자료의 보존성에 비중을 두고 기법별 보간특성을 검토한 결과 다음의

결론을 얻을 수 있었다.

1) 보간격자점에 대한 편차해석과 단면선형을 검토하여 검색거리를 "90 m"로 결정하였고 검색영역은 격자절점수가 최대이면서 보간표준편차가 최소로 나타난 "4 상한"으로 선정하였다.

2) 원자료의 보존성에 비중을 두고 4 종류의 격자에 6가지의 격자화기법을 적용하여 표준편차와 최대 및 최소편차를 검토한 결과, Kriging 및 Radial basis function 기법이 본 이산자료의 격자화 자료구조변환에 적합한 기법으로 판단되었다.

3) 격자화된 DEM을 토대로 등고선도를 작성하여 원자료의 분포와 비교한 결과, 매우 흡사한 분포로 나타남을 확인하였고 특히, 임의 방향의 단면도제작과 토공량 산정에서 격자화된 보간자료의 효용성을 확인할 수 있었다.

격자화 자료구조변환에서 임의 이산지형정보의 내·외적특성에 적합한 검색거리, 검색영역 및 검색읍선을 다양한 모의시험을 통하여 선정하고 격자화기법별로 보간특성을 면밀히 고찰한다면, 표본 이산지형정보로부터 실제지형정보에 좀더 접근된 DEM을 구성할 수 있을 것으로 사료된다.

## 6. 참고문헌

- 1 Franke, R., "Scattered Data Interpolation : Test of Some Methods", *Mathematics of Computations*, v.33, n.157, p.181-200, 1982
- 2 G.Petrie and T.J.M. Kennie, "Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering", McGraw-Hill, Inc., 1991
- 3 David F. Watson, "Contouring", 1994
- 4 DMA TR8350.2 Second Edition, 1 September, 1991
- 5 KAIST 부설 시스템공학센터, "DTM에 의한 수치지도 제작기법 개발연구 I, II", 1990
- 6 John C. Davis, "Statistics and Dataes in Geology", John Wiley & Sons, INC. 1973
7. Golden S/W Inc., "SURFER for Windows", 1994
8. Cressie, N.A.C., "The Origins of Kriging", *Mathematical Geology*, v.22, p.239-252, 1990
9. Briggs, I.C., "Machine Contouring Using Minimum Curvature", *Geophysics*, v.39, n.1, p.39-48, 1974
10. Carlson, R.E., and Foley, T.A., "The Parameter R2 in Multiquadric Interpolation", *Computers Math. Applic*, v.21, n.9, p.29-42, 1991b
11. Renka, R.J., "Multivariate Interpolation of Large Sets of Scattered Data", *ACM, Transaction on Mathematical Software*, v.14, n.2, p.139-148, 1988
12. Watson, D.F., and Philip, G.M., "Automatic Mineral Deposit Assessment Using Triangular Prisms", *Computers in Geosciences*, v.12, n.2, p.221-229, 1986