

OE5) 수몰지역의 지형정보 추정에 관한 연구

권기욱*, 이영민¹, 서용운², 이창수³

대구과학대학 측지정보학과, ¹경북대학교 환경공학과, ²포항1대학 토목도시학과, ³위덕대학교 건축학부

1. 서 론

대부분의 지형분석은 수치지도에서 추출한 DEM을 기초로 이루어진다. 그러나 수치지도에서 추출된 DEM은 주어진 등고선의 간격에 따라 격자의 크기가 결정되므로 지형분석에서는 정도를 높이기 위해 격자의 크기를 보완할 필요가 있다. 이를 위한 방법으로 다양한 기법의 보간법이 사용되며, 보간결과를 바탕으로 세부적인 지형분석을 실행한다. 보간에 의해 산출된 표고의 검증은 위해서는 실측에 의한 검증과정이 필수적이다. 그러나 사람이 접근하기 힘든 지형은 항공측량이나 위성영상 등에 의존할 수밖에 없으므로 실제 지형에 비해 왜곡된 지형을 도출하는 경우도 있다. 따라서 최근에는 공간 정확도가 높고 축척과 해상도의 영향을 찾아내는데 적합한 방법으로 평가받고 있는 프랙탈(fractal) 기법을 이용하여 지형공간정보를 확보하는 방법이 주목받고 있다.

프랙탈 기법은 자기유사성(self-similarity)과 반복성을 가지기 때문에 나무, 강, 광물질, 해안선, 산, 구름 등과 같은 자연에서 볼 수 있는 기하학적 형태에 대해 도형의 넓이나 부피 등의 기본성질뿐만 아니라 프랙탈차원을 이용함으로써 복잡한 도형의 형태까지 수학적으로 처리할 수 있다. 프랙탈차원은 물체의 거친 정도나 부서진 정도, 불규칙한 정도를 측정하는데 활용할 수 있다(Mandelbrot, 1983).

이러한 프랙탈 기법은 국내외에서 주로 하도 길이에 대한 프랙탈 차원계산(Rosso, 1991; 전민우 등, 1992; 성기원, 1994; 고영찬, 1996)과 실측좌표계를 고려하지 않은 가상의 지형생성 및 모델링에 많이 이용이 되고 있다.(노용덕, 1995; Dudgeon 등, 1996; Rahnemoonfar 등, 2003)

따라서 본 연구에서는 적은 량의 기지지형정보로도 수몰지역이나 매립지역의 원지형에 가까운 지형정보를 획득하기 위해 프랙탈 기법을 이용한 보간 과정에서 실측좌표계를 반영하고 대상지역의 자기유사성을 유지할 수 있도록 하였으며, 보간점 사이의 초기거리에 의한 추정오차를 최소화하는 보간 기법을 개발하고 동일 좌표상의 수치지도 데이터와 비교 검토하여 효용성과 적합성에 대해 고찰하였다.

2. 기본이론 및 자료계열의 구성

2.1. 기본이론

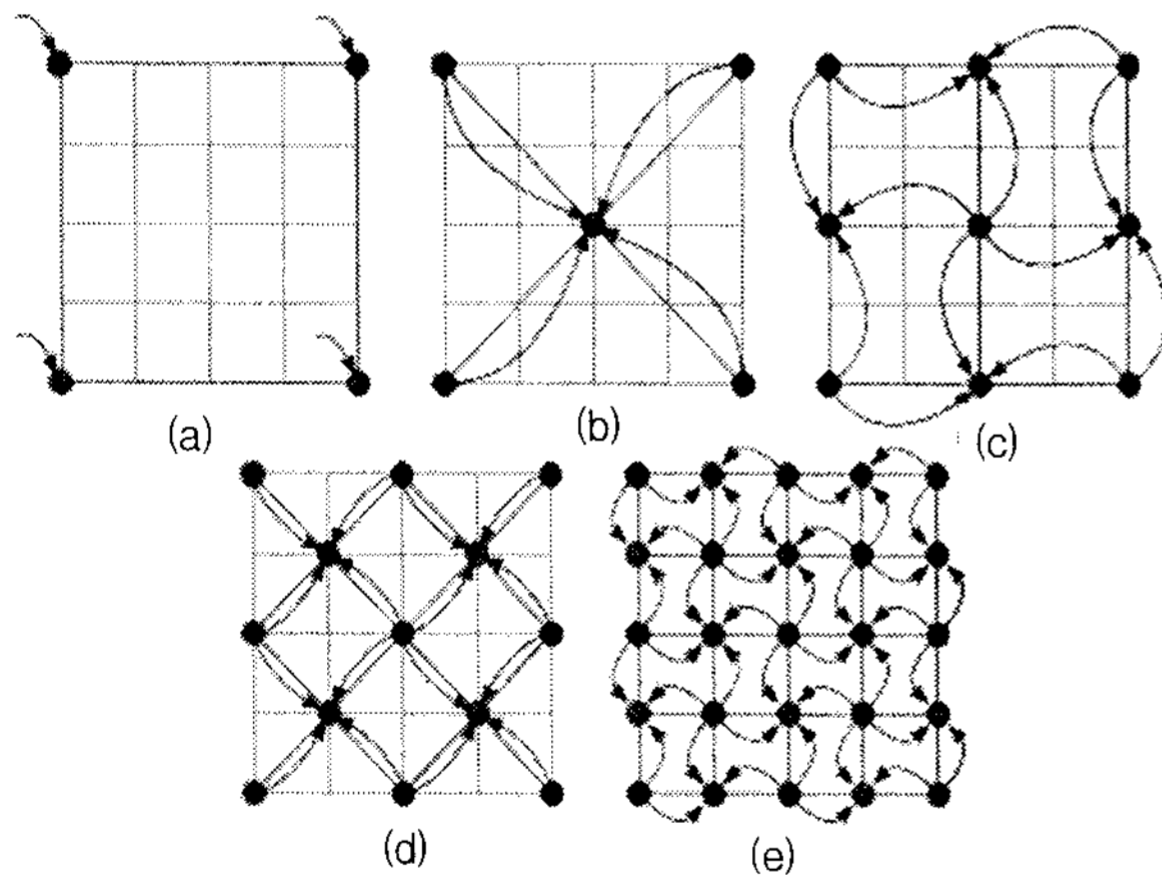
프랙탈은 크게 결정적 프랙탈과 랜덤 프랙탈로 나눌 수 있으며, 랜덤 프랙탈은 결정적 프랙탈에 비해 랜덤 요소가 더 포함 되어 자연물의 모델링에 더 적합하다. 프랙탈의 대표적인

성질로는 결정적 프랙탈의 자기 유사성과 랜덤 프랙탈의 통계적 자기 유사성이 있다. 자기 유사성은 자연계에서 쉽게 발견되는 특징으로 물체의 전체 모양과 물체의 부분을 확대했을 때의 모양이 같거나 혹은 같은 통계적 특성을 갖게 되는 성질을 말한다.

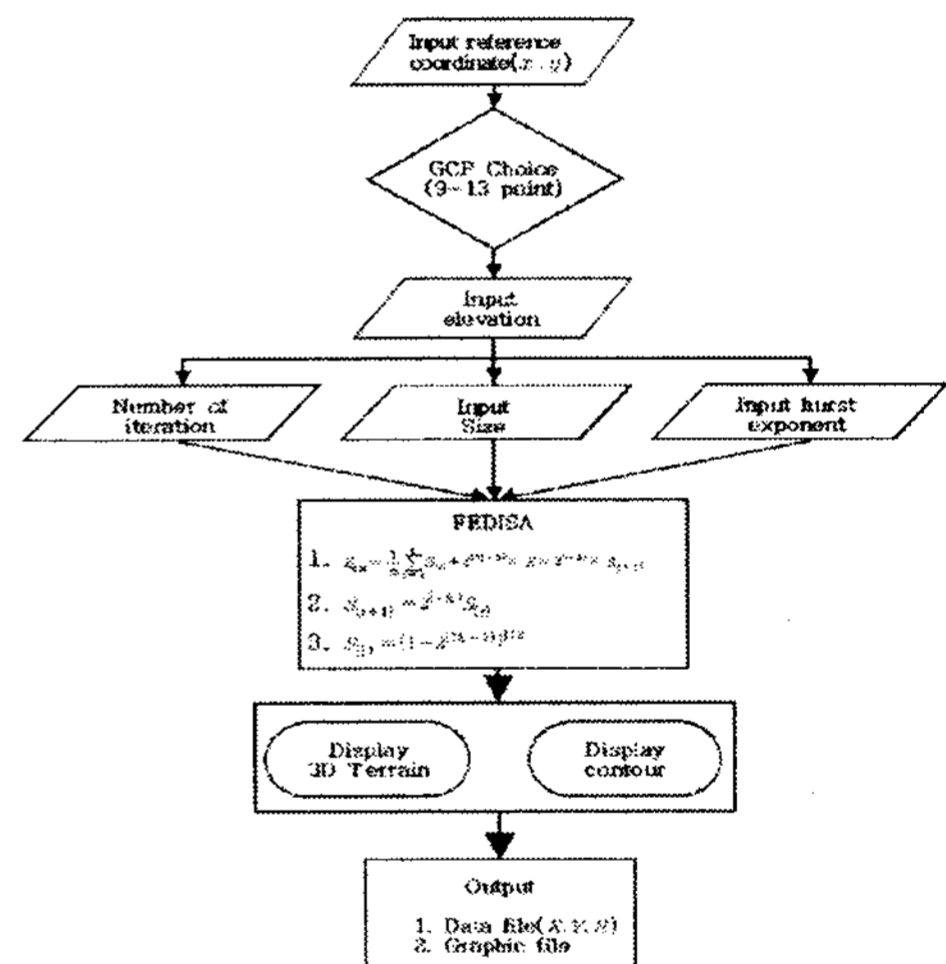
2.2.1. 다이아몬드-격자형 방법

1) 다이아몬드 단계 : 각각 4개의 점을 가지는 사각형에서 중앙인 중간점에 랜덤값을 발생시킨다. 랜덤값은 사각형의 4개 값을 평균값 + 랜덤한 양에 의해 계산되어진다. 인접한 두 개의 사각형을 고려하고, 두 개의 공통 vertice와 두 개의 새로운 중간점은 다이아몬드를 형성한다. 이러한 이유로 이 과정을 다이아몬드 단계이라 한다.

2) 격자형 단계 : 다이아몬드 단계로부터 생성된 다소의 다이아몬드가 있다. 각각의 4 점의 그런 다이아몬드에 대하여, 4개의 값을 평균하고 거기에 랜덤한 양을 더함으로 인해 다이아몬드의 중간점을 위한 새로운 값이 계산된다. 그리고 다시 격자형이 생성된다. 이러한 이유로 이 단계를 격자형 단계라 한다. 격자의 수는 4의 계수에 의한 수만큼 증가한다. 그래서 i 번 반복 후의 격자의 수는 4^i 이며, 각 모서리의 점의 수는 2^{i+1} 이다.



<그림 1> Diamond-square 알고리즘



<그림 2> 프랙탈 보간해석 알고리즘

3. 프랙탈 모형의 구축 및 적용

3.1. 모형의 구축

본 연구에서는 프랙탈 기법을 이용하여 실제 지형정보를 획득하기 위해 실측좌표계를 고려한 보간모형을 개발하였다. 프랙탈 모형은 실측좌표계를 반영할 수 있도록 기준좌표를 입력변수로 구성하였으며, 대상지역의 자기유사성을 유지할 수 있도록 실측 지형정보로부터 산정한 허스트 지수를 입력변수에 포함시켰다. 또한 대상지역의 자연지형이 가지는 불규칙성을 재현하는데 fBm(fractal Browning motion)기법을 적용하였으며, 보간지점의 최근접 지형정보를 반영하기 위해 다이아몬드 격자형 알고리즘을 fBm 알고리즘에 중첩하여 적용하였다. 본 연구에서 보간지점의 지반고 산정과정을 나타내면 식 (1)과 같다.

$$Z_{est} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_{(i)} + d^{2(1-h)} \times R \times 2^{(-h)} \times S_{(j+1)} \quad (1)$$

여기서, n 은 계산 단계에서 사용되는 지형정보(지반고)를 가진 인접 기지점의 수를 나타내며, $Z_{(i)}$ 는 계산 단계에서 사용되는 인접 지점의 지반고, d 는 계산 단계에서 사용되는 인접 지점과의 축간(X or Y) 거리, h 는 허스트지수, R 은 가우스 무작위 변량값, $S_{(j+1)} = 2^{(-h)} S_{(j)}$, j 는 반복계산 수, $S_{(1)} = (1 - 2^{(2h-2)})^{1/2}$ 이다.

실측좌표계를 고려하여 지형정보를 보간하는 경우 식 (1)과 같이 기존의 다이아몬드 격자형 알고리즘과 fBm 알고리즘을 단순히 중첩하여 적용하는 방법은 최초 계산단계에서 문제점을 야기한다. 다이아몬드 격자형 알고리즘은 첫 번째 계산 단계에서 기준점으로부터 보간하고자 하는 지점까지의 거리가 커지는 특징이 있어 식 (1)과 같이 fBm 알고리즘의 무작위 변량 값에 의해 최초 보간지점의 추정치가 결정되는 경우 오차의 규모가 커지게 되는 단점이 있다. 또한 다이아몬드 격자형 알고리즘의 특성상 최초 보간지점의 지반고 추정에서 발생된 오차는 다음 계산단계에서도 누적 전파되므로 보간 결과의 정확도를 떨어뜨리는 원인이 된다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 기준점과 보간점 사이의 초기거리에 의한 추정오차를 최소화 할 수 있도록 보간이 필요한 지역의 면적에 따라 실측 지반고를 다이아몬드 격자형 알고리즘에서 사용하는 초기 보간 지점의 고정입력변수로 지정할 수 있도록 수정(controlled diamond square algorithm)함으로써 보간 단계의 증가에 따른 누적오차를 최소화하고, 보간 결과의 정확도를 제고하였다. <그림 2>는 프랙탈 모형에 의한 보간 해석 알고리즘을 도시하였다.

3.2. 대상지역의 지형 특성

연구 대상지역은 경북 영천시 화북면 보현산 천문대 주변지역으로서 지형이 복잡하고 표고차가 많이 나는 지역으로 지형정보는 국토지리정보원에서 제작한 축척 1/5,000의 수치지도를 이용하여 150m×150m, 300m×300m, 600m×600m, 1,200m×1,200m 등의 일정한 크기로 데이터를 세분화 하였다.

3.3. 프랙탈 모형을 이용한 지형정보의 보간

3.3.1. 기존 보간법에 의한 지형 보간

분석 크기별 자료에서 기준점이 되는 표고값(H)을 9점 선정하여 이 데이터를 이용하여 각각의 방법으로 보간을 실시하였다. 보간 횟수에 따라 데이터의 질이 달라지기 때문에 본 연구에서는 2회, 3회, 4회로 실시하여 데이터를 산출하였다.

보간을 통해 생성된 데이터는 지형분석을 위해 ArcGIS를 이용하여 면적, 표면적, 경사도, 체적 등을 계산하였다. 보간 결과값을 비교해 보기 위하여 원 수치지도에서 동일한 지점의 H 값을 이용하여 면적, 표면적, 경사도, 체적 등의 분석을 실시하였다. 체적 계산시 최저 표고점을 기준으로 하여 분석이 이루어 졌다. 보간기법별 산정결과는 <표 1>~<표 4>와 같다.

<표 1> 지형 보간결과의 비교(150m×150m)

Iteration	Interpolation	Projected area (m ²)	Surface area (m ²)	Slope(°)			Volume (m ³)
				Mean	Min	Max	
2nd	Linear	22,500	27,450	34.57	27.07	42.40	1,227,656
	Spline	22,500	27,791	35.45	26.36	41.41	1,245,181
	IDW	22,500	25,616	25.27	0.00	52.19	1,173,122
	Kriging	22,500	25,617	27.23	3.73	36.99	1,138,824
	Digital Map	22,500	27,479	34.24	0.00	65.35	1,251,162
3rd	Linear	22,500	27,438	34.56	27.07	42.40	1,227,656
	Spline	22,500	27,865	35.69	25.39	42.52	1,230,580
	IDW	22,500	28,073	30.70	0.00	82.89	1,240,541
	Kriging	22,500	27,250	33.02	0.12	61.87	1,235,412
	Digital Map	22,500	27,479	34.24	0.00	65.35	1,251,162
4th	Linear	22,500	27,435	34.56	27.07	42.40	1,227,657
	Spline	22,500	27,883	35.75	24.72	42.93	1,229,033
	IDW	22,500	27,319	31.02	0.14	70.36	1,237,369
	Kriging	22,500	26,712	27.21	0.39	60.09	1,237,380
	Digital Map	22,500	27,479	34.24	0.00	65.35	1,251,162

<표 2> 지형 보간결과의 비교(300m×300m)

Iteration	Interpolation	Projected area (m ²)	Surface area (m ²)	Slope(°)			Volume (m ³)
				Mean	Min	Max	
2nd	Linear	90,000	101,962	26.47	12.92	39.33	6,901,875
	Spline	90,000	104,117	27.35	4.06	44.09	7,920,152
	IDW	90,000	101,475	24.11	0.00	45.38	6,900,401
	Kriging	90,000	98,959	23.29	0.13	67.08	6,779,477
	Digital Map	90,000	108,452	32.29	0.00	49.59	6,857,243
3rd	Linear	90,000	101,242	25.69	2.70	39.33	6,901,875
	Spline	90,000	103,921	27.93	3.82	47.92	7,921,353
	IDW	90,000	101,475	24.17	0.00	45.41	6,900,401
	Kriging	90,000	98,969	23.35	0.05	80.30	6,899,772
	Digital Map	90,000	108,452	32.29	0.00	49.59	6,857,243
4th	Linear	90,000	101,054	25.52	2.69	39.33	6,901,876
	Spline	90,000	103,831	27.85	2.73	49.62	7,922,827
	IDW	90,000	101,476	24.19	0.00	45.42	6,900,401
	Kriging	90,000	98,949	23.38	0.01	32.96	6,879,472
	Digital Map	90,000	108,452	32.29	0.00	49.59	6,857,243

<표 3> 지형 보간결과의 비교(600m×600m)

Iteration	Interpolation	Projected area (m ²)	Surface area (m ²)	Slope(°)			Volume (m ³)
				Mean	Min	Max	
2nd	Linear	360,000	377,083	17.04	11.04	22.30	37,889,298
	Spline	360,000	378,124	17.49	10.22	22.31	36,900,956
	IDW	360,000	374,753	15.15	7.73	28.40	38,229,919
	Kriging	360,000	376,580	16.76	10.37	22.74	37,796,847
	Digital Map	360,000	435,300	31.11	3.29	73.55	43,662,524
3rd	Linear	360,000	377,005	17.02	11.04	22.30	37,889,301
	Spline	360,000	378,289	17.58	10.17	22.43	36,845,214
	IDW	360,000	376,022	15.53	0.76	27.66	38,206,212
	Kriging	360,000	376,410	16.65	8.32	23.12	37,711,756
	Digital Map	360,000	435,300	31.11	3.29	73.55	43,662,524
4th	Linear	360,000	376,985	17.02	11.04	22.30	37,889,301
	Spline	360,000	378,329	17.60	10.17	23.00	36,857,136
	IDW	360,000	376,812	15.84	1.05	30.52	38,202,493
	Kriging	360,000	376,378	16.62	7.61	23.25	37,689,206
	Digital Map	360,000	435,300	31.11	3.29	73.55	43,662,524

<표 4> 지형 보간결과의 비교(1,200m×1,200m)

Iteration	Interpolation	Projected area (m ²)	Surface area (m ²)	Slope(°)			Volume (m ³)
				Mean	Min	Max	
2nd	Linear	1,440,000	1,487,081	13.00	2.08	20.84	211,793,136
	Spline	1,440,000	1,503,376	15.46	5.27	28.46	208,878,943
	IDW	1,440,000	1,480,890	11.29	1.12	23.29	211,121,308
	Kriging	1,440,000	1,483,361	12.51	1.74	21.55	213,049,712
	Digital Map	1,440,000	1,657,691	27.95	3.51	53.85	202,349,307
3rd	Linear	1,440,000	1,482,708	13.09	2.08	20.84	211,793,130
	Spline	1,440,000	1,501,383	15.28	2.79	31.92	205,795,285
	IDW	1,440,000	1,481,875	12.49	1.46	21.55	211,172,588
	Kriging	1,440,000	1,477,833	12.26	2.22	22.57	213,417,506
	Digital Map	1,440,000	1,657,691	27.95	3.51	53.85	202,349,307
4th	Linear	1,440,000	1,481,593	12.96	1.37	20.84	211,793,130
	Spline	1,440,000	1,500,805	15.22	2.31	33.56	205,154,249
	IDW	1,440,000	1,483,935	12.90	1.10	24.52	211,172,555
	Kriging	1,440,000	1,476,634	12.24	2.22	23.21	213,515,389
	Digital Map	1,440,000	1,657,691	27.95	3.51	53.85	202,349,307

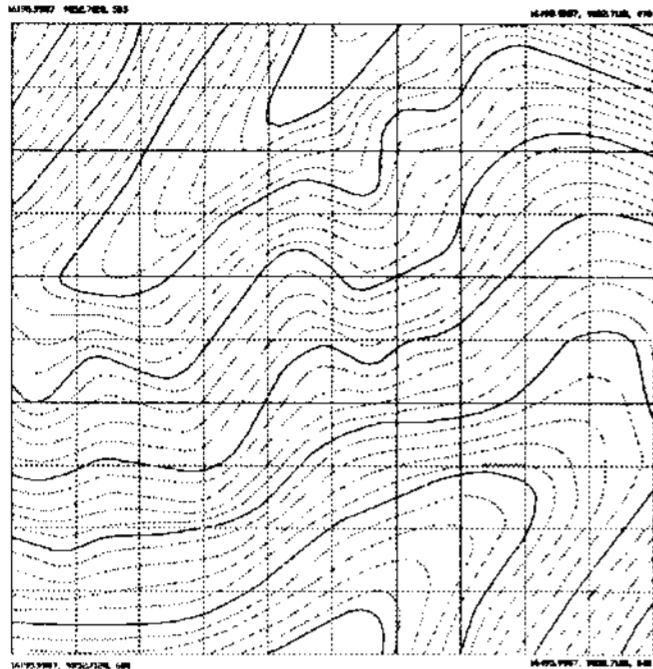
<그림 3>은 300m×300m 크기에 대한 4회 반복의 Linear, Spline, IDW, Kriging, Fractal 기법에 의한 보간결과를 나타낸 것이다. 원 수치지도와 동일한 조건으로 비교하기 위하여 5m 간격의 주곡선과 25m 간격의 계곡선을 삽입하여 도시하였다.

4. 결과의 고찰

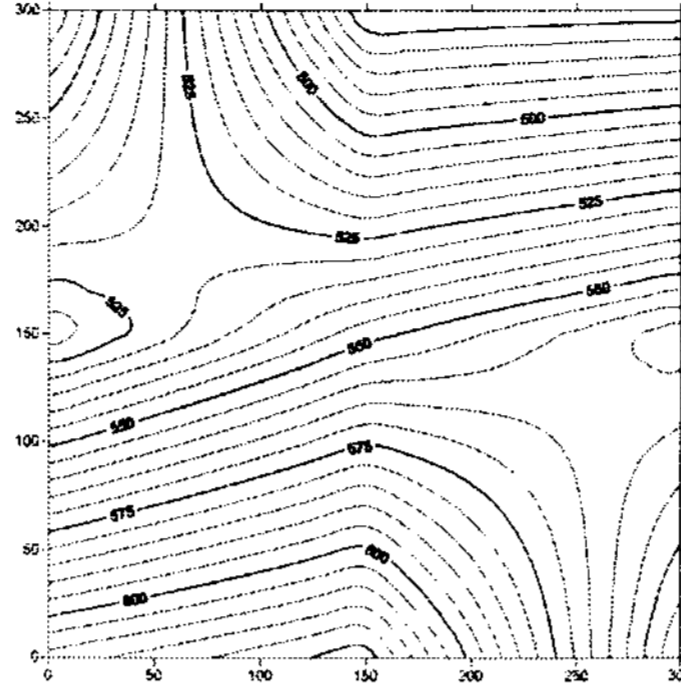
본 연구결과의 효용성과 적합성을 검토하기 위해 보간기법별로 산출된 X, Y, H 좌표와 실제 수치지도 상의 X, Y, H 좌표를 이용하여 통계특성치를 비교하였다. <표 5>~<표 8>의 통계특성 결과는 수치지도와 각 보간기법의 H 값의 수, 평균, 표준편차, 표준오차, 수치지도를 기준으로 한 보간기법별 RMSE, 평균에 대한 95% 신뢰구간에서의 하한값과 상한값, H의 최소값, 최대값 등을 나타내고 있다.

<표 5>~<표 8>의 통계특성 검토결과 수치지도를 기준으로한 각 보간기법별 RMSE는 선형보간기법에 이어 2번째를 나타낸 150m×150m를 제외하면 Fractal 기법을 이용한 보간

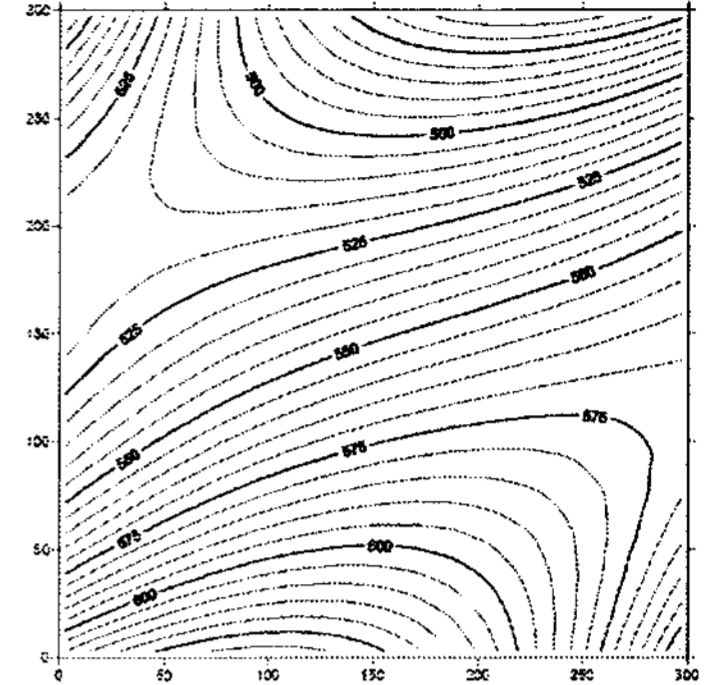
결과가 가장 작은 값을 나타내므로 원 수치지도의 지형특성을 가장 잘 재현하는 것으로 나타났다.



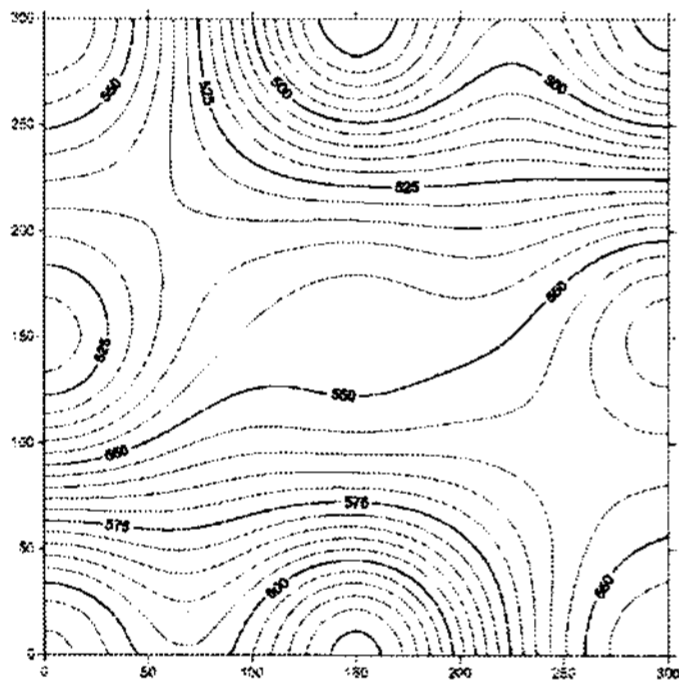
(a) 원 수치지도



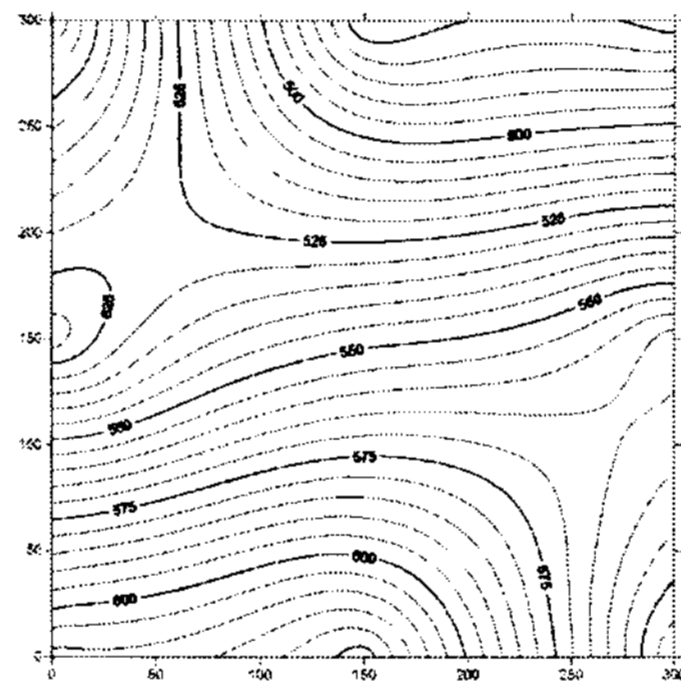
(b) Linear 보간



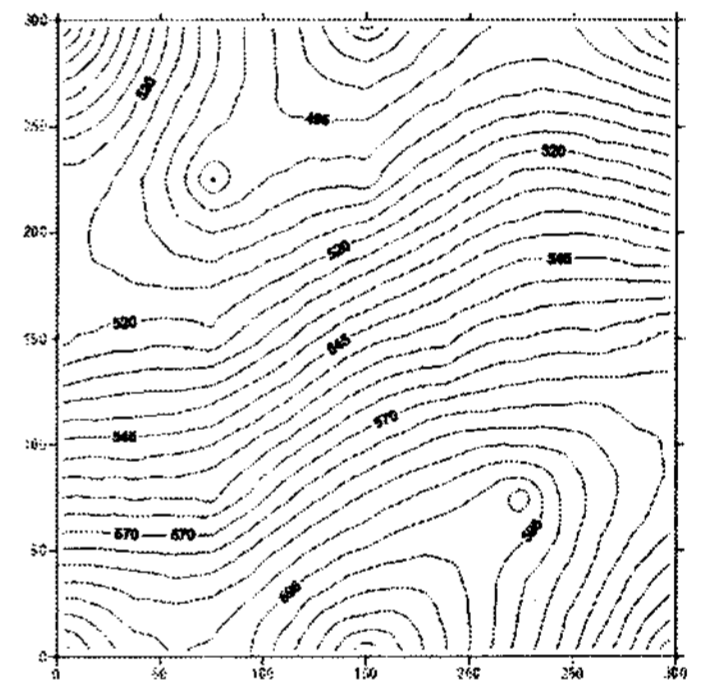
(c) Spline 보간



(d) IDW 보간



(e) Kriging 보간



(f) Fractal 보간

<그림 3> 보간기법별 지형추정결과의 비교(4회 반복, 300m×300m)

<표 5> 통계특성치의 비교(150m×150m)

Classification	N	Mean (m)	Std. Deviation	Std. Error	RM SE	95% Confidence Interval for Mean		Min (m)	Max (m)
						Lower Bound	Upper Bound		
Digital map	289	568.28	30.25	1.78	-	564.78	571.78	513.8	628
Fractal	289	569.18	28.82	1.70	3.23	565.84	572.51	514.0	628
Linear	289	569.09	30.88	1.82	2.95	565.52	572.67	514.0	628
Spline	289	566.19	31.89	1.88	4.02	562.50	569.88	510.8	628
IDW	289	569.52	21.04	1.24	11.60	567.08	571.96	517.0	628
Kriging	289	568.42	24.44	1.44	7.42	565.59	571.25	517.0	628
Total	1,734	568.45	28.14	0.68	-	567.12	569.77	510.8	628

<표 6> 통계특성치의 비교(300m×300m)

Classification	N	Mean (m)	Std. Deviation	Std. Error	RM SE	95% Confidence Interval for Mean		Min (m)	Max (m)
						Lower Bound	Upper Bound		
Digital map	289	546.11	40.88	2.41	-	541.38	550.85	470	628
Fractal	289	547.06	34.92	2.05	9.77	543.01	551.10	470	628
Linear	289	546.67	36.39	2.14	15.35	542.46	550.88	470	628
Spline	289	546.84	40.75	2.40	11.26	542.12	551.56	459	634
IDW	289	546.66	32.21	1.90	18.22	542.93	550.39	470	628
Kriging	289	546.66	36.74	2.16	14.92	542.41	550.92	470	628
Total	1,734	546.67	37.06	0.89	-	544.92	548.41	459	634

<표 7> 통계특성치의 비교(600m×600m)

Classification	N	Mean (m)	Std. Deviation	Std. Error	RM SE	95% Confidence Interval for Mean		Min (m)	Max (m)
						Lower Bound	Upper Bound		
Digital map	289	560.1	66.93	3.94	-	552.37	567.86	440	707
Fractal	289	559.4	56.93	3.35	29.98	552.80	565.99	447	682
Linear	289	552.9	55.65	3.27	31.98	546.47	559.35	447	682
Spline	289	549.5	57.28	3.37	32.89	542.87	556.14	446	682
IDW	289	553.6	47.80	2.81	35.20	548.07	559.14	447	682
Kriging	289	552.3	56.72	3.34	31.56	545.76	558.89	447	682
Total	1,734	554.6	57.20	1.37	-	551.95	557.34	440	707

<표 8> 통계특성치의 비교(1,200m×1,200m)

Classification	N	Mean (m)	Std. Deviation	Std. Error	RM SE	95% Confidence Interval for Mean		Min (m)	Max (m)
						Lower Bound	Upper Bound		
Digital map	289	581.64	75.66	4.45	-	572.88	590.40	441	742
Fractal	289	582.24	49.14	2.89	40.30	576.55	587.93	447	703
Linear	289	593.90	54.23	3.19	47.27	587.62	600.17	447	703
Spline	289	591.12	65.81	3.87	49.85	583.50	598.74	447	705
IDW	289	593.42	49.74	2.93	46.97	587.66	599.18	447	703
Kriging	289	594.95	53.74	3.16	46.97	588.73	601.17	447	703
Total	1,734	589.54	59.01	1.42	-	586.76	592.32	441	742

5. 결 론

본 연구에서는 수몰지역이나 매립지역의 원지형에 가까운 지형정보를 획득하기 위해 기존에 개발된 보간 기법의 정확도와 효율성을 극대화하기 위하여 프랙탈 기법을 적용하고 소량의 기지 지형정보로도 대상지역의 자연지형이 가지는 불규칙성을 재현하여 보다 실제지형에 가까운 지형정보를 생성할 수 있는 프랙탈 모형을 개발하였다. 모형의 적용 대상면적을 150m×150m, 300m×300m, 600m×600m, 1,200m×1,200m 등으로 다양하게 설정하여 기존의 보간 기법 및 프랙탈 모형에 의한 계산 결과와 수치지도에서 추출한 자료를 비교·검토하고 모형의 효율성과 적합성에 대해 고찰한 결과 프랙탈 모형에 의해 산출된 표고와 실측표고간의 RMSE가 기존 보간법에 의한 산출결과보다 작은 것으로 나타나 기존의 보간법에 비해 소량의 기지 지형정보만으로 자연지형이 가지는 불규칙성을 재현하여 실제지형에 가까운 지형을 생성하고 정확도 높은 지형정보를 획득할 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 향후 프랙탈 모형을 통해 산정된 지형정보에 기존의 보간 기법을 접목한 후, 기준점 배치를 정규 격자형이 아닌 지형의 변곡점이나 특징점 등을 이용할 수 있게 개선한다면 더욱 효율적이고 정확한 지형을 보간할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 고영찬, 1996. 하천 차수를 고려한 프랙탈 차원의 산정 및 적용, 박사학위논문, 서울대학교.
2. 권기욱, 2006. 프랙탈 기법에 의한 지형복원에 관한 연구, 박사학위논문, 영남대학교
3. 권기욱, 지형규, 이종달, 2005. 프랙탈 기법에 의한 지형·지세의 특성분석, 한국지역지리학회지, 제11권, 제6호.
4. 성기원, 1994. 유역의 자기상사성을 이용한 수문지형학적 응답의 해석, 박사학위논문, 서울대학교.
5. 전민우, 조원철, 1992. 지형도 축척에 따르는 하천 수로망과 분류 하천길이에 관한 프랙탈 차원, 대한토목학회논문집, Vol.12, No.4-1, pp.97-106.
6. Arakawa, K. and Krotkov, E., 1996. Fractal Modelling of Natural Terrain: Analysis and Surface Reconstruction with Range Data, *Graphical Models and Image*

- Processing*, Vol. 58, No. 5, pp. 413-436.
7. Dudgeon, J. E., Gopalakrishnan, R., 1996. Fractal-Based Modeling of 3D Terrain Surfaces, *IEEE*, pp.246-252.
 8. Hurst, H. E., 1951. Long term storage capacity of reservoirs, *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, Vol. 116, pp. 770-779.
 9. Mandelbrot, B. B., 1983. *The Fractal Geometry of Nature*, W. H. Freeman, New York.
 10. Mandelbrot, B. B. and Van Ness J. W., 1968. Fractional brownian motions, Fractional Gaussian noises and applications, *SIAM Rev.*, Vol. 10, No. 4, pp. 422-437.
 12. Rahnemoonfar, M., Delavar, M. R., Hashemi, L., 2003. Fractal and surface modeling, *Commission IV*, WG IV/6, 2003.