

프랙탈을 이용한 지형복원 모형개발

권기욱^{1*} · 안병구² · 이종달³

Development of Topography Restoration Model using Fractal Method

Kee-Wook KWON^{1*} · Byung-Gu AHN² · Jong-Dal LEE³

요 약

본 연구에서는 기존에 개발된 지형 보간기법의 정확도와 효율성을 극대화하기 위해 프랙탈 기법을 적용하여 소량의 기지 지형정보로도 대상지역의 자연지형이 가지는 불규칙성을 재현하여 보다 실제지형에 가까운 지형정보를 생성할 수 있는 FEDISA 모형을 개발하였다. 또한 모형의 적합성 및 효율성을 검토하기 위한 도구로 경사도 범위지수 I_{SR} , 표면적 지수 I_{SA} , 체적 지수 I_V 를 개발하였으며, 모형의 적용 대상면적을 75m×75m, 150m×150m, 300m×300m, 600m×600m, 1,200m×1,200m 등으로 다양하게 설정하여 기존의 보간 기법 및 FEDISA 모형에 의한 계산 결과와 실측자료에 대해 비교·검토를 통하여 FEDISA 모형의 효율성과 적합성을 제시하였다.

주요어 : 프랙탈, 경사도 범위 지수, 표면적 지수, 체적 지수

ABSTRACT

In this study, in order to maximize the accuracy and efficiency of the existing interpolation method fractal methods are applied. Developed FEDISA model revives the irregularity of the real topography with only a few information about base topography, which can produce almost complete geographic information. Moreover, as a tool for examining the adaptability and efficiency of the model, index of slope range I_{SR} , index of surface I_{SA} , and index of volume I_V were developed. The model area is respectively set to 75m×75m, 150m×150m, 300m×300m, 600m×600m, and 1,200m×1,200m, and then the data obtained by combining the existing interpolation methods and FEDISA model were compared with real measurements. The result of the study showed the adaptability and efficiency of FEDISA model in topography restoration.

KEYWORDS : Fractal, Slope Range Index, Surface Area Index, Index of Volume

2006년 6월 30일 접수 Received on June 30, 2006 / 2006년 9월 4일 심사완료 Accepted on September 4, 2006

1 영남대학교 시간강사 Yeungnam University

2 명지대학교 토목공학과 Dept. of Civil Engineering, Myongji University

3 영남대학교 토목공학과 Dept. of Civil Engineering, Yeungnam University

* 연락처 E-mail : kkw@tsc.ac.kr

서론

21C는 지식 정보화의 시대이며, 일상생활 속에서 접할 수 있는 많은 양의 정보가 다양한 방법으로 구축되고 적용된다. 특히 건설 관련 정보는 공간정보와 속성정보의 종합적이고 체계적인 관리를 위해 지형공간정보체계(geographic information system : GIS)의 필요성이 날로 증가되고 있으며, 이를 대표하는 가장 기초적인 자료는 수치표고모델(digital elevation model : DEM)이다. 근래에는 DEM을 이용한 다양한 지형분석 기법이 개발되었으며, 이를 이용한 모델링과 타당성 조사, 지형변화분석 및 지형자료의 유지·관리 등 다양한 분야에서 활용빈도가 높아지고 있다.

우리나라는 국가지리정보시스템(national geographic information system : NGIS) 사업을 통해 전국에 걸쳐 축척 1:25,000, 1:5,000, 주요도시에 대하여 축척 1:1,000의 수치지도를 제작하였으며, 도시정보시스템(urban information system : UIS) 사업 구축 및 지하시설물 체계 구축, 지형모델링, 지형분석 등의 분야에 활용하고 있다.

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 지형 분석을 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.(권기욱 등, 2005)

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(Mandelbrot, 1983). 프랙탈차원은 물체의 거친 정도나 부서진 정도, 불규칙한 정도를 측정하는데 활용할 수 있다.(Arakawa 등, 1996) 프랙탈곡선은 자연이 가지는 불규칙성을 재현하여 자연상태에 가까운 지형을 생성할 수 있으므로 DEM의 보간에 활용하면 지형분석에 필요한 정밀한 정보를 획득할 수 있으며, 적은 양의 데이터를 이용하더라도 정확성이 높은 공간분석을 수행할 수 있으므로 보다 효율적인 분석기법이라 할 수 있다(Guillande, 1991). 프랙탈 기법을 이용한 기존의 연구들은 실측좌표계를 고려하지 않은 가상적인 지형생성(노용덕, 1995)과 하천의 프랙탈 차원결정(전민우 등, 1992; 성기원, 1994; 차상화 등, 2001)에 관한 것이 대부분으로 원격탐사(Polidori 등, 1993)와 도시와 교통(문태현, 2005 ;Salingaros, 2003) 등의 분야에 제한적으로 활용되고 있는 실정이다.

따라서 실제지형에 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 개발하였다.

새로이 개발된 보간 기법의 계산 결과는 실측 자료와 비교·검토하고 통계적 검증 과정을 거쳐 효율성과 적합성에 대해 고찰하여 새로운 보간기법의 효율성과 정도에 대해 검토하였다.

연구방법 및 절차

프랙탈 기법을 이용하여 지형을 분석하기 위하여, 먼저 지형분석 및 프랙탈에 대한 이론적 개념을 바탕으로 프랙탈 모형을 구축한다. 연구대상지를 결정한 후 축척 1:5,000 수치지도를 이용하여 75m × 75m, 150m × 150m, 300m × 300m, 600m × 600m, 1,200m × 1,200m 등의 대상 면적크기를 정한 후 수치지도 상에서 일정한 간격의 지상기준점(GCP) 9~13점을 획득한다. 이 기준점들을 이용하여 선형(linear), 스플라인(spline), 크리징(kriging), 역거리 가중치법(inversed distance weight :IDW) 등의 기존 보간법들을 이용한 데이터와 프랙탈 모형에서 산출된 데이터를 비교·검토 한다. 검증된 모형을 통해 산출된 데이터를 이용하여 경사도 및 표면적, 체적 산정 등의 지형분석을 ArcGIS를 통해 분석하고, 기존 보간법을 통해 산출된 데이터도 동일한 방법을 통해 지형분석을 실시한다.

지형분석을 통해 산출된 경사도, 표면적, 체적 등의 데이터를 수치지도 값을 기준으로 하는 지수(index)를 개발한 후 기존의 보간법과 프랙탈 모형 간의 비교를 통해 프랙탈 모형의 우수성을 제시하고자 한다.

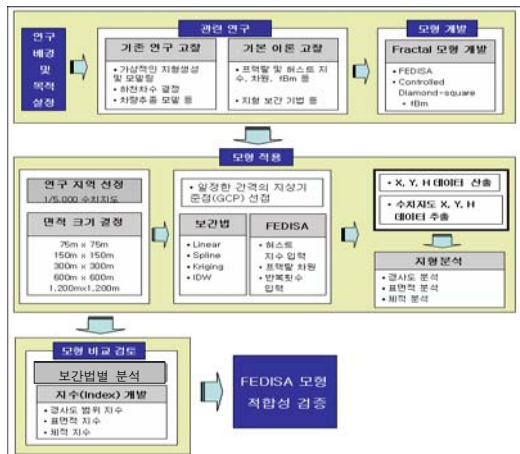


FIGURE 1. Flow diagram of study procedure

FEDISA 모형의 구축

1. 모형의 구축

프랙탈 기법을 이용한 기존의 연구들은 자연 지형이 가지는 불규칙성을 재현하는데 있어 실측좌표계를 고려하지 않은 가상지형의 생성에 그 범위가 국한되었으나, 본 연구에서는 프랙탈 기법을 이용하여 실제 지형정보를 획득하기 위해 실측좌표계를 고려한 보간모형인 FEDISA(fractal height field estimation model with controlled diamond square and fBm algorithm)를 개발하였다. 그림 2는 FEDISA 모형의 구성을 나타내고 있다.

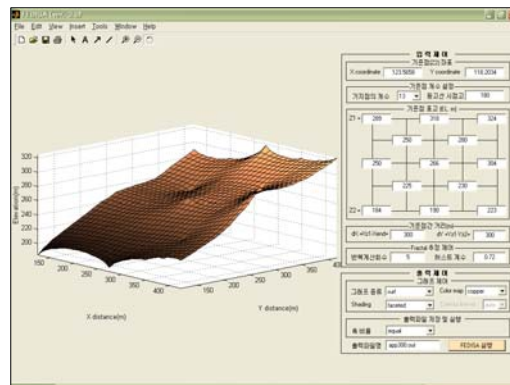


FIGURE 2. Main windows of FEDISA model

FEDISA모형은 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 기법(Mandelbrot 등, 1968)을 적용하였으며, 보간지점의 최근접 지형정보를 반영하기 위해 다이아몬드 격자형 알고리즘(Dudgeon 등, 1996)을 fBm 알고리즘에 중첩하여 적용하였다. FEDISA 모형에서 보간지점의 지반고를 산정하기 위한 계산과정을 식과 같이 나타낼 수 있다.

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

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. 그림 3에서 FEDISA 모형의 보간해석 알고리즘을 도시하였다.

그러나 실측좌표계를 고려하여 지형정보를 보간하는 경우 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 fBm 알고리즘의 무작위 변량 값에 의해 최초 보간 지점의 추정치가 결정되는 경우 오차의 규모가 커지게 되는 단점이 있다. 또한 다이아몬드 격자형 알고리즘의 특성상 최초 보간 지점의 지반고 추정에서 발생된 오차는 다음 계산단계에서도 누적 전과되므로 보간 결과의 정확도를 떨어뜨리는 원인이 된다.

따라서 FEDISA 모형에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 기준점과 보간점 사이의 초기 거리에 의한 추정오차를 최소화 할 수 있도록 보간이 필요한 지역의 면적에 따라 실측 지반고를 다이아몬드 격자형 알고리즘에서 사용하는 초기 보간 지점의 고정입력변수로 지정할 수 있도록 수정함으로써 보간 단계의 증가에 따른 누적오차를 최소화하고, 보간 결과의 정확도를 제고하였다.

또한 FEDISA 모형의 출력결과는 분석에 적용된 실측좌표계를 기준으로 산출되도록 설정

하였으며, 등고선 레이어의 형태로 출력이 가능하도록 하여 GIS 프로그램과의 연계를 통해 지형분석에 있어 그 효율성을 높일 수 있도록 하였다.

2. FEDISA 모형에 의한 지형 보간

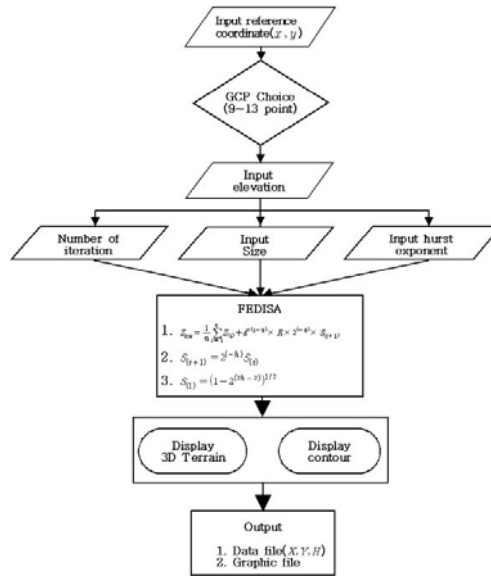


FIGURE 3. Schematics of interpolation algorithm for FEDISA

구축된 FEDISA 모형에 적용하기 위한 절차는 그림 3에서 제시한 흐름과 같다. 먼저, 분석 지역의 크기를 결정하고 지상 기준점(GCP)을 선정한다. 이 기준점을 이용하여 해당지점의 표고값을 입력한 다음, 보간 반복횟수, 허스트 지수, 보간에 따른 결과값의 파일 이름 등의 순으로 FEDISA에 입력을 한다.

이러한 입력과정을 MatLab(Ver. 6.5.1) 프로그래머서 GUI 환경으로 구현된 FEDISA 모형에 적용하여 3D 모형 및 등고선, X, Y, H 좌표 등을 획득한다.

FEDISA 모형을 통해 각 분석 크기별(75m × 75m, 150m × 150m, 300m × 300m, 600m × 600m, 1,200m × 1,200m) 보간횟수에 따른

X, Y, H 값이 산출된다.

이 값을 이용하여 다른 보간법들과 비교하기 위해 면적, 표면적, 경사도, 체적 등을 계산한다.

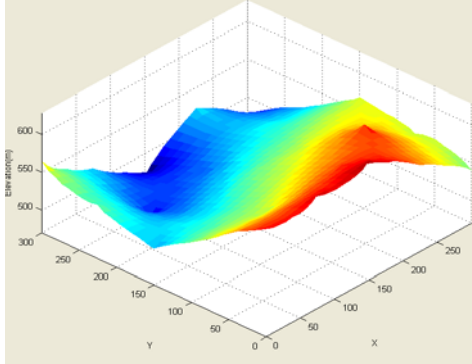


FIGURE 4. Estimated 3D terrain by FEDISA
(300m×300m : $h= 0.7683$)

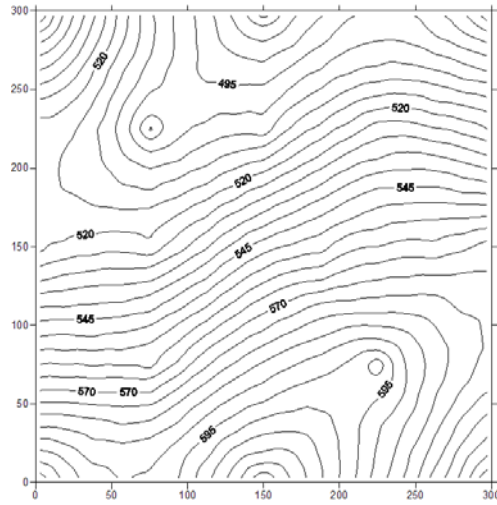


FIGURE 5. Contour line estimated by FEDISA

TABLE 1. Comparison of topographic characteristics for 300m×300m target area by iterations and interpolation methods

Iteration	Interpolation	Projected area (m^2)	Surface area (m^2)	Slope($^\circ$)			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
	FEDISA	90,000	107,184	30.86	7.15	44.57	7,059,736
	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
	FEDISA	90,000	103,667	27.95	3.84	48.42	6,796,101
	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
	FEDISA	90,000	102,333	26.67	1.89	58.04	6,889,668
	Digital Map	90,000	108,452	32.29	0.00	49.59	6,857,243

FEDISA 모형의 검증

FEDISA 모형의 검증을 위해 실제 수치지도의 좌표값, 선형, 스플라인, IDW, Kriging, FEDISA 모형을 통한 좌표값들을 이용하여 분석한 경사도, 표면적, 체적 등을 수치화하여 상호 비교·분석해 보았다.

1. 경사도 범위 지수에 의한 고찰

각 보간법을 통한 분석 데이터를 이용하여 원래의 수치지도와의 비교를 위해 먼저 경사도 범위 지수를 설정하여 비교해 보았다. 경사도는 평균, 최소, 최대 경사도로 분석이 이루어 졌으나, 여기서는 지형의 최대경사도와 최소 경사도의 범위를 이용하여 지수를 설정하고자 한다. 경사도 범위 지수(slope range index : I_{SR})는 ArcGIS에서 분석된 수치지도에 의한 경사도 범위를 기준으로 하여 각 보간기법에 의한 데이터의 경사도 범위의 오차를 백분율로 표시하였다.

$$I_{SR} = \left| 1 - \frac{ES_{max} - ES_{min}}{OS_{max} - OS_{min}} \right| \times 100(\%)$$

(2)

여기서,

- I_{SR} : 경사도 범위 지수
- ES_{max} : 보간을 통한 최대 경사도
- ES_{min} : 보간을 통한 최소 경사도
- OS_{max} : 원 수치지도의 최대 경사도
- OS_{min} : 원 수치지도의 최소 경사도

TABLE 2. Comparison of I_{SR} by iteration and interpolation methods (75m×75m)

Iteration	Interpolation method	Slope(°)			I_{SR} (%)
		Min①	Max②	Range(②-①)	
2	Linear	25.26	40.38	15.12	76
	Spline	25.89	42.47	16.58	74
	IDW	16.00	55.19	39.19	38
	Kriging	24.43	42.06	17.63	72
	FEDISA	18.26	47.21	28.95	55
	Digital map	0.00	63.63	63.63	0
3	Linear	25.26	40.38	15.12	76
	Spline	22.26	43.47	21.21	67
	IDW	2.11	53.57	51.46	19
	Kriging	23.57	42.67	19.10	70
	FEDISA	12.94	53.29	40.35	37
	Digital map	0.00	63.63	63.63	0
4	Linear	24.42	40.38	15.96	75
	Spline	21.89	43.75	21.86	66
	IDW	0.02	55.84	55.82	12
	Kriging	5.78	42.22	36.44	43
	FEDISA	0.62	62.14	61.52	3
	Digital map	0.00	63.63	63.63	0

TABLE 3. Comparison of I_{SR} by iteration and interpolation methods (150m×150m)

Iteration	Interpolation method	Slope(°)			I_{SR} (%)
		Min①	Max②	Range(②-①)	
2	Linear	27.07	42.40	15.33	77
	Spline	26.36	41.41	15.05	77
	IDW	0.00	52.19	52.19	20
	Kriging	3.73	36.99	33.26	49
	FEDISA	1.04	52.91	51.87	20
	Digital map	0.00	65.35	65.35	0
3	Linear	27.07	42.40	15.33	77
	Spline	25.39	42.52	17.13	74
	IDW	0.00	82.89	82.89	27
	Kriging	0.12	61.87	61.75	6
	FEDISA	1.11	56.87	55.76	15
	Digital map	0.00	65.35	65.35	0
4	Linear	27.07	42.40	15.33	77
	Spline	24.72	42.93	18.21	72
	IDW	0.14	70.36	70.22	7
	Kriging	0.39	60.09	59.70	9
	FEDISA	0.68	60.50	59.82	8
	Digital map	0.00	65.35	65.35	0

TABLE 4. Comparison of I_{SR} by iteration and interpolation methods (300m×300m)

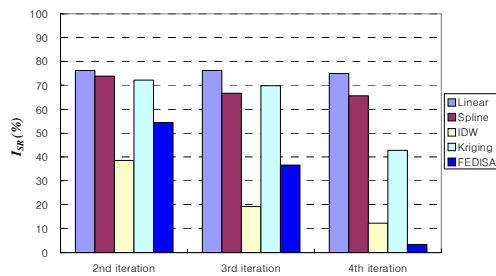
Iteration	Interpolation method	Slope(°)			I_{SR} (%)
		Min(①)	Max(②)	Range(②-①)	
2	Linear	12.92	39.33	26.41	47
	Spline	4.06	44.09	40.03	19
	IDW	0.00	45.38	45.38	8
	Kriging	0.13	67.08	66.95	35
	FEDISA	7.15	44.57	37.42	24
	Digital map	0.00	49.59	49.56	0
3	Linear	2.70	39.33	36.63	16
	Spline	3.82	47.92	44.10	11
	IDW	0.00	45.41	45.41	8
	Kriging	0.05	80.30	80.25	62
	FEDISA	3.84	48.42	44.58	10
	Digital map	0.00	49.59	49.56	0
4	Linear	2.69	39.33	36.64	26
	Spline	2.73	49.62	46.89	5
	IDW	0.00	45.42	45.42	8
	Kriging	0.01	32.96	32.95	34
	FEDISA	1.89	58.04	56.15	13
	Digital map	0.00	49.59	49.56	1

TABLE 6. Comparison of I_{SR} by iteration and interpolation methods (1,200m×1,200m)

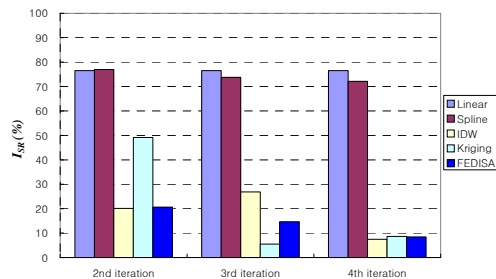
Iteration	Interpolation method	Slope(°)			I_{SR} (%)
		Min(①)	Max(②)	Range(②-①)	
2	Linear	2.08	20.84	18.76	63
	Spline	5.27	28.46	23.19	54
	IDW	1.12	23.29	22.17	56
	Kriging	1.74	21.55	19.81	61
	FEDISA	3.11	25.92	22.81	55
	Digital map	3.51	53.85	50.34	0
3	Linear	2.08	20.84	18.76	63
	Spline	2.79	31.92	29.13	42
	IDW	1.46	21.55	20.09	60
	Kriging	2.22	22.57	20.35	60
	FEDISA	1.05	33.06	32.01	36
	Digital map	3.51	53.85	50.34	0
4	Linear	1.37	20.84	19.47	61
	Spline	2.31	33.56	31.25	38
	IDW	1.10	24.52	23.42	53
	Kriging	2.22	23.21	20.99	58
	FEDISA	0.76	40.11	39.35	22
	Digital map	3.51	53.85	50.34	0

TABLE 5. Comparison of I_{SR} by iteration and interpolation methods (600m×600m)

Iteration	Interpolation method	Slope(°)			I_{SR} (%)
		Min(①)	Max(②)	Range(②-①)	
2	Linear	11.04	22.30	11.26	84
	Spline	10.22	22.31	12.09	83
	IDW	7.73	28.40	20.67	71
	Kriging	10.37	22.74	12.37	82
	FEDISA	0.44	31.17	30.73	56
	Digital map	3.29	73.55	70.26	0
3	Linear	11.04	22.30	11.26	84
	Spline	10.17	22.43	12.26	83
	IDW	0.76	27.66	26.90	62
	Kriging	8.32	23.12	14.80	79
	FEDISA	1.43	32.87	31.44	55
	Digital map	3.29	73.55	70.26	0
4	Linear	11.04	22.30	11.26	84
	Spline	10.17	23.00	12.83	82
	IDW	1.05	30.52	29.47	58
	Kriging	7.61	23.25	15.64	78
	FEDISA	1.36	34.36	33.00	53
	Digital map	3.29	73.55	70.26	0



a. 75m×75m



b. 150m×150m

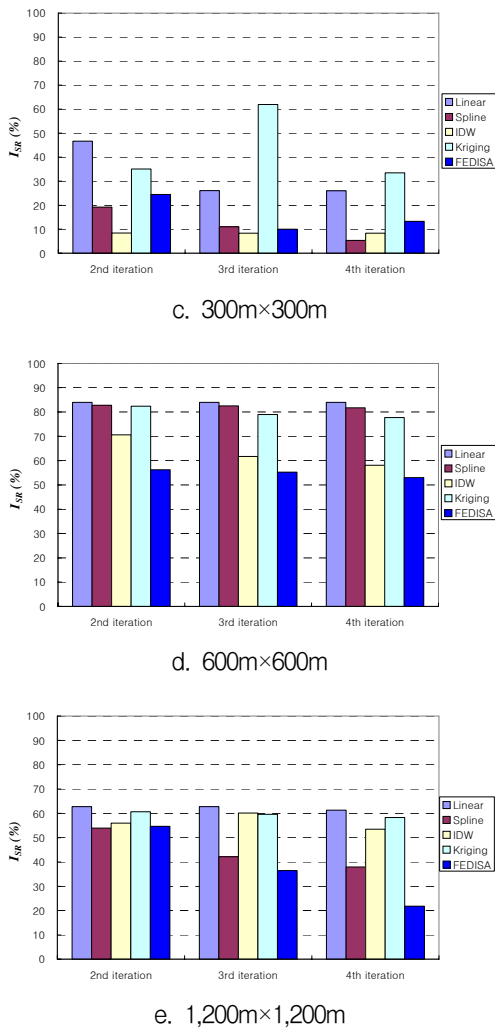


FIGURE 6. Comparison of slope range index by iteration and interpolation methods

경사도 범위를 이용하여 지수 I_{SR} 를 비교해 본 결과는 다음과 같다.

75m×75m와 150m×150m에서 I_{SR} 비교는 FEDISA가 반복횟수가 증가함에 따라 오차량이 현저히 감소하는 것을 확인할 수 있으나 다른 보간 기법들은 반복횟수가 증가하여도 오차량은 변화가 거의 없음을 확인할 수 있다. 300m×300m에서는 I_{SR} 이 3회 반복시 IDW 기법을

제외하고는 전반적으로 오차량이 작았다. FEDISA는 반복횟수가 증가할 수록 오차량이 줄어들음을 알 수 있었고 평균 15%이내의 오차를 나타내고 있다. 600m×600m에서는 I_{SR} 이 FEDISA뿐만 아니라 다른 기존 보간 기법들도 상당한 량의 오차를 보여주고 있다. 그 이유로는 대상 지역을 선정시 주로 산악지대로만 구성이 되어 있었기 때문이었다. 그러나 타 보간 기법에 비해 FEDISA는 오차량이 제일 작음을 알 수 있었다. 1,200m×1,200m에서는 I_{SR} 이 그림 6에서와 같이 FEDISA는 반복횟수가 증가할 수록 오차가 현격히 줄어들음을 알 수 있었으며 기존 보간법에 비해 실제 수치지도의 경사도 범위에 가장 근접함을 보여주고 있다.

다양한 면적 크기에 대한 I_{SR} 비교에서 FEDISA는 지형의 거침정도를 나타내주는 허스트 지수를 이용하여 지형을 보간해 주었기 때문에 실제 지형에 대한 경사도 범위에 대해 다른 보간 기법보다 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

2. 표면적 지수에 의한 고찰

표면적은 실제 지형의 기복에 따라 같은 투영 면적이라도 서로 다른 값을 산출할 수가 있다. 따라서 투영면적에 비해 지형분석시 자주 이용이 되고 있다. 각 보간법을 통한 분석 데이터를 ArcGIS의 Spatial Analyst를 이용하여 75m×75m, 150m×150m, 300m×300m, 600m×600m, 1,200m×1,200m에 대해 표면적을 계산하였다. 계산된 값을 원 수치지도의 표면적과 비교하기 위해 표면적 지수(surface area index : I_{SA})를 설정하였다. I_{SA} 는 ArcGIS에서 분석된 수치지도에 의한 표면적을 기준으로 하여 각 보간 기법에 의한 데이터의 표면적 오차를 백분율로 표시하였다.

$$I_{SA} = \left| 1 - \frac{E_A}{O_A} \right| \times 100 (\%) \quad (3)$$

여기서,

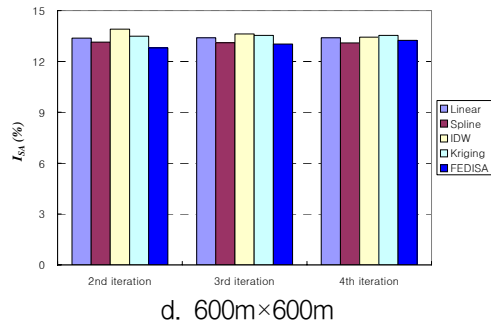
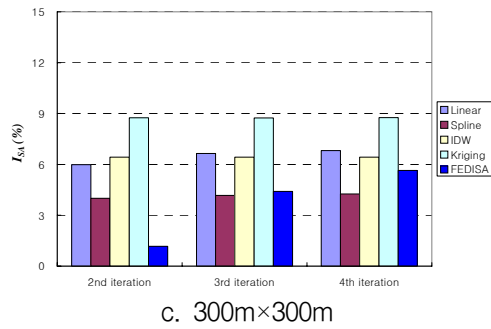
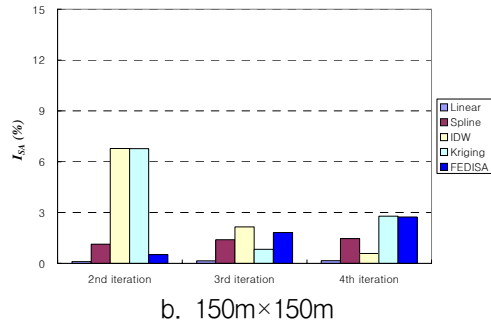
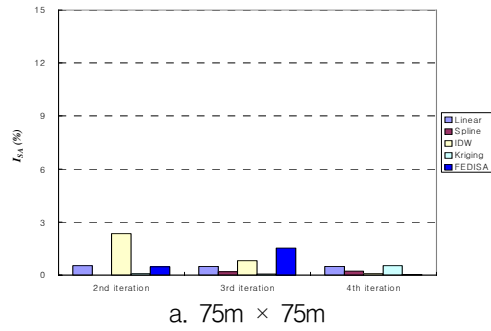
I_{SA} : 표면적 지수
 E_A : 보간을 통한 표면적
 O_A : 원 수치지도의 표면적

TABLE 7. Comparison of I_{SA} by iteration and interpolation methods (75m×75m, 150m×150m, 300m×300m)

Iteration	Interpolation method	75m×75m		150m×150m		300m×300m	
		Surface area (m ²)	I_{SA} (%)	Surface area (m ²)	I_{SA} (%)	Surface area (m ²)	I_{SA} (%)
2	Linear	6,796.10	1	27,449.84	0	101,961.47	6
	Spline	6,760.35	0	27,791.22	1	104,116.51	4
	IDW	6,601.38	2	25,615.52	7	101,474.48	6
	Kriging	6,765.38	0	25,617.23	7	98,958.49	9
	FEDISA	6,728.36	0	27,335.87	0	107,184.03	1
	Digital map	6,760.23	0	27,479.44	0	108,451.96	0
3	Linear	6,792.88	0	27,437.74	0	101,241.86	7
	Spline	6,747.90	0	27,864.45	1	103,921.00	4
	IDW	6,705.77	1	28,072.83	2	101,475.40	6
	Kriging	6,756.77	0	27,249.83	1	98,969.30	9
	FEDISA	6,656.36	2	27,678.74	0	103,667.33	4
	Digital map	6,760.23	0	27,479.44	0	108,451.96	0
4	Linear	6,793.55	0	27,434.71	0	101,054.11	7
	Spline	6,745.68	0	27,882.55	1	103,830.58	4
	IDW	6,765.64	0	27,318.65	1	101,475.57	6
	Kriging	6,796.28	1	26,712.01	3	98,948.51	9
	FEDISA	6,758.86	0	26,726.82	3	102,333.05	5
	Digital map	6,760.23	0	27,479.44	0	108,451.96	0

TABLE 8. Comparison of I_{SA} by iteration and interpolation methods (600m×600m, 1,200m×1,200m)

Iteration	Interpolation method	600m×600m		1,200m×1,200m	
		Surface area (m ²)	I_{SA} (%)	Surface area (m ²)	I_{SA} (%)
2	Linear	377,083	13	1,487,081	10
	Spline	378,124	13	1,503,376	9
	IDW	374,753	14	1,480,890	11
	Kriging	376,580	13	1,483,361	11
	FEDISA	379,593	13	1,499,213	10
	Digital map	435,300	0	1,657,691	0
3	Linear	377,005	13	1,482,707	11
	Spline	378,289	13	1,501,383	9
	IDW	376,022	14	1,481,875	11
	Kriging	376,410	14	1,477,833	11
	FEDISA	378,586	13	1,486,458	10
	Digital map	435,300	0	1,657,691	0
4	Linear	376,985	13	1,481,593	11
	Spline	378,329	13	1,500,805	9
	IDW	376,812	13	1,483,936	10
	Kriging	376,378	14	1,476,634	11
	FEDISA	377,649	13	1,482,344	11
	Digital map	435,300	0	1,657,691	0



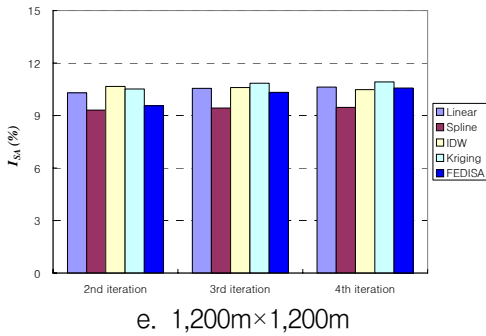


FIGURE 7. Comparison of surface area index by iteration and interpolation methods

표면적을 이용하여 지수 I_{SA} 를 비교한 결과는 다음과 같다.

75m × 75m와 150m × 150m에서 I_{SA} 는 IDW를 제외한 모든 보간 기법이 오차량이 거의 없음을 확인할 수 있었으며, FEDISA는 실제 지형의 표면적과 같은 0을 나타내 오차가 없다는 것을 알 수 있었다.

300m × 300m에서는 I_{SA} 가 FEDISA뿐만 아니라 다른 보간 기법들도 9%이내의 오차량을 보여 수치지도의 표면적과 차이가 많이 나지 않음을 확인하였다. FEDISA는 타 보간 기법에 비해 오차량이 제일 작음을 알 수 있었다. 600m × 600m에서는 I_{SA} 가 FEDISA뿐만 아니라 다른 기존 보간 기법들도 10%이상의 오차를 보여주고 있다. 그 이유로는 대상 지역을 선정시 주로 산악지대로만 구성이 되어 있었기 때문이었다. 그러나 타 보간 기법에 비해 FEDISA는 오차량이 제일 작음을 알 수 있었다. 1,200m × 1,200m에서는 I_{SA} 가 FIGURE 7에서와 같이 FEDISA는 반복횟수가 증가할 수록 오차가 조금씩 늘어나는 것을 알 수 있었으나 기존 보간법에 비해 실제 수치지도의 표면적에 가장 근접함을 보여주고 있다.

다양한 면적 크기에 대한 I_{SA} 비교에서 FEDISA는 실제 지형에 대한 표면적을 잘 반영할 수 있는 보간 기법이라 할 수 있다.

3. 체적 지수에 의한 고찰

체적은 지형분석시 토공량의 산정에 필수적으로 포함이 되는 값이다. 각 보간법을 통한 분석 데이터를 ArcGIS의 Spatial Analyst를 이용하여 75m × 75m, 150m × 150m, 300m × 300m, 600m × 600m, 1,200m × 1,200m에 대해 체적을 계산하였다. 계산된 값을 원 수치지도의 체적과 비교하기 위해 체적 지수(Index of volume : I_V)를 설정하였다. 체적은 각 대상 지역에서 표고의 최저점을 기준으로 하여 계산이 되었다. I_V 는 ArcGIS에서 분석된 수치지도에 의한 체적을 기준으로 하여 각 보간기법에 의한 데이터의 체적 오차를 백분율로 표시하였다.

$$I_V = \left| 1 - \frac{E_V}{O_V} \right| \times 100 (\%) \quad (4)$$

여기서, I_V : 체적 지수

E_V : 보간을 통한 체적

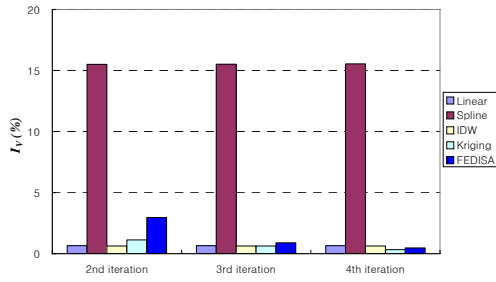
O_V : 원 수치지도의 체적

TABLE 9. Comparison of I_V by iteration and interpolation methods (75m×75m, 150m×150m, 300m×300m)

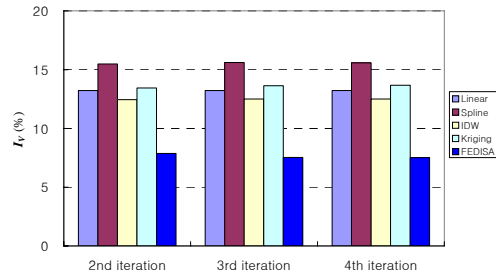
Iteration	Interpolation method	75m×75m		150m×150m		300m×300m	
		volume (m^3)	I_V (%)	volume (m^3)	I_V (%)	volume (m^3)	I_V (%)
2	Linear	211,992	5	1,227,656	2	6,901,875	1
	Spline	209,165	4	1,245,180	0	7,920,152	16
	IDW	212,877	6	1,173,122	6	6,900,401	2
	Kriging	211,810	5	1,138,824	9	6,779,477	0
	FEDISA	213,013	6	1,182,909	5	7,059,736	3
	Digital map	201,092	0	1,251,162	0	6,857,243	0
3	Linear	211,992	5	1,227,656	2	6,901,875	1
	Spline	208,256	4	1,230,580	2	7,921,353	16
	IDW	212,816	6	1,240,541	1	6,900,401	1
	Kriging	211,599	5	1,235,412	1	6,899,772	1
	FEDISA	213,021	6	1,240,086	1	6,796,101	0
	Digital map	201,092	0	1,251,162	0	6,857,243	0
4	Linear	211,641	5	1,227,657	2	6,901,876	1
	Spline	207,881	3	1,229,033	2	7,922,827	16
	IDW	212,803	6	1,237,369	1	6,900,401	1
	Kriging	211,274	5	1,237,380	1	6,879,472	0
	FEDISA	205,238	2	1,255,184	0	6,889,668	0
	Digital map	201,092	0	1,251,162	0	6,857,243	0

TABLE 10. Comparison of I_V by iteration and interpolation methods (600m×600m, 1,200m×1,200m)

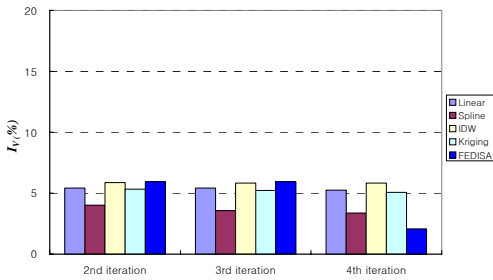
Iteration	Interpolation method	600m×600m		1,200m×1,200m	
		volume(m^3)	I_V (%)	volume(m^3)	I_V (%)
2	Linear	37,889,298	13	211,793,136	5
	Spline	36,900,956	15	208,878,943	3
	IDW	38,229,919	12	211,121,308	4
	Kriging	37,796,847	13	213,049,712	5
	FEDISA	40,223,524	8	198,178,780	2
	Digital map	43,662,524	0	202,349,307	0
3	Linear	37,889,301	13	211,793,130	5
	Spline	36,845,214	16	205,795,285	2
	IDW	38,206,212	12	211,172,588	4
	Kriging	37,711,756	14	213,417,507	5
	FEDISA	40,371,713	8	199,235,432	2
	Digital map	43,662,524	0	202,349,307	0
4	Linear	37,889,301	13	211,793,130	5
	Spline	36,857,136	16	205,154,249	2
	IDW	38,202,493	10	211,172,555	4
	Kriging	37,689,206	14	213,515,389	5
	FEDISA	40,382,411	8	199,694,504	1
	Digital map	43,662,524	0	202,349,307	0



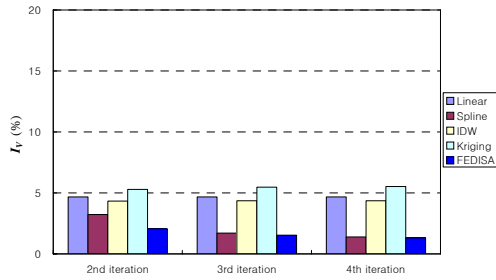
c. 300m×300m



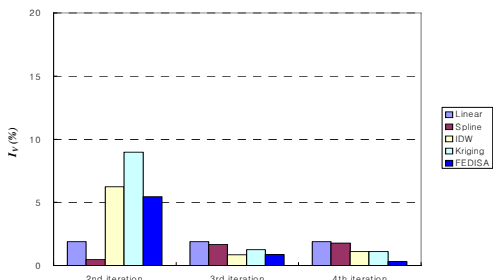
d. 600m×600m



a. 75m×75m



e. 1,200m×1,200m



b. 150m×150m

FIGURE 8. Comparison of volume index by iteration and interpolation methods

체적을 이용한 지수 I_V 를 비교한 결과는 다음과 같다.

75m × 75m에서는 모든 보간 기법들이 기준치 0을 초과하여 산출이 되었다. 이것은 75m의 분석 면적에 비해 반복횟수가 증가함으로써 지점간의 거리가 짧아진다. 이로 인해 체적이 계산되기 때문에 실제 체적보다 다소 많게

산출이 되는 것이다. $150\text{m} \times 150\text{m}$ 에서 I_{SA} 는 2회 반복시 IDW를 제외한 모든 보간 기법이 오차량이 대부분 5% 이내로 실제 수치지도의 체적과 차이가 없음을 확인할 수 있었다. $300\text{m} \times 300\text{m}$ 에서는 I_V 가 스프라인 기법을 제외한 다른 보간 기법들도 2%이내의 오차량을 보여 수치지도의 체적과 차이가 많이 나지 않음을 확인하였다. 스프라인 기법은 반복횟수에 따라 실제 체적에 비해 다소 과대하게 산출이 되었으며, 그 이유는 고차방정식에 따른 지형간의 표고가 다소 과소과대하게 산출이 되었기 때문이다. $600\text{m} \times 600\text{m}$ 에서는 I_V 가 FEDISA를 제외한 대부분의 기존 보간 기법들은 오차량이 15%도 10%이상의 오차를 보여주고 있다. 그 이유는 대상 지역을 선정시 주로 산악지로만 구성이 되어 있었기 때문이었다. 그러나 타 보간 기법에 비해 FEDISA는 오차량이 제일 작음을 알 수 있었다. $1,200\text{m} \times 1,200\text{m}$ 에서는 I_V 가 FIGURE 8에서와 같이 FEDISA는 반복횟수가 증가할 수록 오차가 줄어드는 것을 알 수 있었으며, 기존 보간법들도 전체적인 오차량은 5% 이내로 양호한 결과를 보이고 있다. 그러나 반복횟수에 따라 기존 보간법들은 오차량의 변화가 없음을 확인할 수 있으나 FEDISA는 반복횟수가 증가할 수록 실제 수치지도의 체적에 가장 근접함을 보여주고 있다.

결론

본 연구에서는 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 FEDISA 모형을 개발하였다. 또한 모형의 적합성 및 효율성

을 검토하기 위한 도구로 경사도 범위지수 I_{SR} , 표면적 지수 I_{SA} , 체적 지수 I_V 를 개발하여 FEDISA 모형의 효율성과 적합성에 대해 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) I_{SR} 분석결과, 대상면적이 $75\text{m} \times 75\text{m} \sim 1,200\text{m} \times 1,200\text{m}$ 지형에서 FEDISA를 통해 산출된 데이터로 형성된 경사도 범위는 실제지형의 경사도 범위에 대해 3% ~ 22%의 오차를 나타내고 있고, 기존 보간 기법을 통해 산출된 데이터로 형성된 경사도 범위는 실제지형의 경사도 범위에 대해 5% ~ 75%의 오차를 나타내고 있다. 따라서 기존 보간 기법으로 산출된 데이터에 의한 I_{SR} 에 비해 FEDISA로 산출된 데이터에 의한 I_{SR} 의 오차가 작게 산출이 됨을 알 수 있었다.
- 2) I_{SA} 분석결과, 대상면적이 $75\text{m} \times 75\text{m} \sim 1,200\text{m} \times 1,200\text{m}$ 지형에서 FEDISA를 통해 산출된 데이터로 형성된 지형의 표면적은 실제지형의 표면적에 대해 0% ~ 11%의 오차를 나타내고 있고, 기존 보간 기법을 통해 산출된 데이터로 형성된 표면적은 실제지형의 표면적에 대해 0% ~ 14%의 오차를 나타내고 있다. 따라서 FEDISA를 통해 산출된 데이터로 형성된 지형의 표면적이 기존 보간법에 의한 결과보다 실제 지형을 잘 반영하고 있음을 알 수 있었다.
- 3) I_V 분석결과, 대상면적이 $75\text{m} \times 75\text{m} \sim 1,200\text{m} \times 1,200\text{m}$ 지형에서 FEDISA를 통해 산출된 데이터로 형성된 지형의 체적은 실제지형의 체적에 대해 0% ~ 8%의 오차를 나타내고 있고, 기존 보간 기법을

통해 산출된 데이터로 형성된 체적은 실제지형의 체적에 대해 0% ~ 16%의 오차를 나타내고 있다. 따라서 FEDISA를 통해 산출된 데이터로 형성된 지형의 체적이 기존 보간법에 의한 결과보다 실제 지형의 체적에 근접함을 알 수 있었다.

본 연구에서 제시된 FEDISA 모형을 적용함으로써 기존의 보간법에 비해 소량의 기지 지형정보만으로 자연지형이 가지는 불규칙성을 재현하여 실제지형에 가까운 지형을 생성하고 정확도 높은 지형정보를 획득할 수 있었다. 이 모형에 의한 보간 기법은 저수지나 댐 저부, 대규모 절·성토로 인한 지형 파괴 지역 등과 같이 변형된 지형정보로부터 원지형을 복원하는데 적절히 활용될 수 있을 것으로 기대된다. **KAGIS**

참 고 문 헌

- 권기욱, 지형규, 이종달. 2005. 프랙탈 기법에 의한 지형·지세의 특성분석. 한국지역지리학회지 11(6):530-542.
- 노용덕. 1995. 프랙탈 기법에 의한 울릉도 형상화 사례연구. 한국시물레이션학회지, 4(1): 13-119.
- 문태현. 2005. 건물분포를 고려한 도시형태의 프랙탈 해석. 한국지리정보학회지 8(3):1-10.
- 성기원. 1994. 유역의 자기상사성을 이용한 수문지형학적 응답의 해석. 서울대학교 박사학위논문.
- 전민우, 조원철. 1992. 지형도 축척에 따르는 하천수로망과 분류 하천길이에 관한 fractal dimension. 대한토목학회지 12(4-1):97-106.
- 차상화, 권기욱. 2001. GIS를 이용한 하천유역의 프랙탈 특성 분석. 한국지리정보학회지 4(4): 51-60.
- Arakawa, K. and Krotkov, E. 1996. Fractal Modelling of Natural Terrain: Analysis and Surface Reconstruction with Range Data, Graphical Models and Image Processing 58(5):413-436.
- Dudgeon, J. E., Gopalakrishnan, R. 1996. Fractal-Based Modeling of 3D Terrain Surfaces, IEEE :246-252.
- Guillande, R. 1991. Description of Terrain as a Fractal Surface, and Application to Digital Elevation Model Quality Assessment, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 57(10):1329-1332.
- Mandelbrot, B. B. and Van Ness J. W. 1968. Fractional brownian motions, Fractional Gaussian noises and applications, SIAM Rev. 10(4): 422-437.
- Mandelbrot, B. B. 1983. Fractals: Form, Chance and Dimension, W. H. Freeman, New York.
- Polidori, L., and Chorowicz, J. 1993. Comparison of bilinear and Brownian interpolation for digital elevation models, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 48: 18-23.
- Salingaros, N. A. 2003. Connecting the Fractal City, 5th Biennial of town planners in Europe. **KAGIS**