

## 수치고도모형을 이용한 본류하천길이에 관한 프랙탈 차원의 해석

차 상 화

안동과학대학 토목과

(2002년 7월 12일 접수; 2002년 9월 13일 채택)

### The Analysis of Fractal Dimension on the Main-Stream Length using Digital Elevation Model

Sang-Hwa Cha

Dept. of Civil Engineering, Andong Science College, Gyungbuk 760-822, Korea

(Manuscript received 12 July, 2002; accepted 13 September, 2002)

Recently, GIS(Geographic Information System) is used to extract various hydrological factors from DEM(Digital Elevation Model) in river basin. Therefore, this study aims at the determination of river fractal dimension using DEM. In this paper, the main-stream length in river basin was grid-analyzed for each scale(1/5,000, 1/25,000, 1/50,000) and each cell size(5m×5m, 10m×10m, 20m×20m, 30m×30m, 40m×40m, 50m×50m, 60m×60m, 70m×70m, 80m×80m, 90m×90m, 100m×100m, 120m×120m, 150m×150m) using GIS. Also, fractal dimension was derived by analyzing correlation among main-stream lengths, scale, and cell size which were calculated here. The result of calculating fractal dimension for each cell size shows that the fractal dimension on the main-stream length is 1.028.

Key words : GIS, DEM, fractal dimension, main-stream length

#### 1. 서 론

##### 1.1. 연구의 배경 및 목적

최근들어 컴퓨터 주변기기 및 소프트웨어의 개발로 수문정보, 특히 하천유역의 기하학적 특성과 같은 각종 지형정보를 획득하는데 있어서 지리정보시스템(Geographic Information System ; GIS)을 많이 사용하게 되었다.

이러한 GIS는 수문현상에 영향을 미치는 기상학적 요인, 토양도, 토지이용도 및 배수유역의 형태 등 수문정보를 획득하기 위한 수단으로 사용될 수 있고 단조롭고 시간이 많이 소요되는 기존의 자료 추정방법과는 달리 유역에서의 지형학적, 기상학적 특성을 시간과 노력을 절약하여 정량화할 수 있는 장점이 있어 사용이 급증하고 있는 추세이다.

그러나 1970년대 후반들어 지형도 축척에 따라 측정되는 하천의 지형인자의 크기가 변한다는 프랙

탈 이론이 Mandelbrot에 의하여 등장하면서 부터 기존의 하천지형정보 추출시 수치고도모형(Digital Elevation Model ; DEM)를 이용함에 있어서 반드시 거쳐야 하는 과정인 Grid 분석에 있어 격자의 크기 및 지도의 축척에 따른 영향성에 대한 검토가 제기되어 활발한 연구가 진행되어 오고 있다. 하지만 지금까지의 연구에서는 지도의 축척률 즉, 스케일에 관한 연구는 어느 정도 성과가 있었으나 격자 크기 변화에 따른 프랙탈 특성에 관한 연구는 거의 미비하였다.

따라서 본 연구에 있어서는 하천유역에 있어서 강우유출해석 및 하천유수량 산정에 가장 큰 영향을 미친다고 판단되는 본류하천길이를 DEM을 활용하여 보다 정확하고 객관적인 방법으로 추출하고, 여기서 추출된 본류하천길이와 격자 크기 및 축척률과의 상관관계를 분석하여 하천의 프랙탈 차원을 산정하는데 목적을 두었다.

##### 1.2. 연구방법 및 내용

본 연구에서는 먼저, 실제 하천유역에 GIS을 이용하여 본류하천길이를 다양한 방법으로 추출하기

Corresponding Author : Sang-Hwa Cha, Dept. of Civil Engineering, Andong Science College, Gyungbuk 760-822, Korea  
Phone : +82-54-851-3604  
E-mail : tnwkdjns@lycos.co.kr

위하여 국제수문개발계획의 연구대상유역중의 하나인 위천유역을 분석유역으로 선정하여 축척 1/5,000, 1/25,000, 1/50,000인 수치지도를 구입하여 GIS 소프트웨어 중 ESRI사에서 제작한 ArcInfo 8.02<sup>1)</sup>를 사용하여 DEM을 구축하였다.

다음으로, 구축된 DEM을 이용하여 분석대상 하천유역에 대한 하천망 및 유역경계선을 추출하고 Grid 분석을 실시하여 자동적으로 6개의 소유역으로 분할하였다. 자동 분할된 소유역에 대하여 분류하천길이를 격자 크기별(5m, 10m, 20m, 30m, 40m, 50m, 60m, 70m, 80m, 90m, 100m, 120m, 150m) 및 축척별(1/5,000, 1/25,000, 1/50,000)로 각각 추출하였다.

여기서 추출된 각 소유역별 분류하천길이와 격자 크기 및 축척률과의 상관관계를 분석하고 회귀식과 상관계수를 구하고, 결정된 회귀식으로 부터 Richardson<sup>2)</sup> 방법을 이용하여 각 소유역별 및 전체 유역에 대한 프랙탈 차원을 각각 산정하여 본 하천 유역의 프랙탈 특성을 분석하도록 하였다. 이러한 분석 과정을 통하여 실제의 분류하천길이에 대한 프랙탈 차원은 기존의 연구자들이 제안한 것처럼 유역전체에 걸쳐 균일한 것이 아니라 소유역별로 상이한 값을 갖고 그 수치도 기존 연구자들이 제안한 값보다 작은 값을 갖고 있음을 밝혀 냈다.

### 1.3. 관련 연구 고찰

프랙탈 차원에 관한 지금까지 국내외에서 연구된 주요사례를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 국외의 경우에 있어서 Mandelbrot<sup>3)</sup>는 영국의 해안선 길이를 측정하면서 지형도의 축척에 따라서 길이가 다르다는 것을 밝히면서 일반적인 기하학과는 다른 프랙탈 기하학을 도입하였다. 이러한 개념은 여러 가지의 축척을 통해서 비슷한 형상을 나타내는 불규칙한 형태를 분석하는데 간단한 수학적 형식을 이용하게 된다. 이러한 프랙탈 이론의 하천에 대한 적용은 Mandelbrot가 하천의 분류 유로연장과 유역면적의 관계를 설명하면서 하천의 fractal 차원을 1.136이라고 제시한 것으로부터 시작되었다. Hjelmfelt<sup>4)</sup>는 미국의 미소리주에 있는 8개의 하천에 대해서 유역면적과 유로연장을 측정하여 프랙탈 차원을 평균 1.158로 제시하였으며, 이 값은 Mandelbrot의 가설을 뒷받침 해주는 것이었다. Tarboton<sup>5)</sup> 등은 DEM 자료를 이용하여 하도망의 프랙탈 차원에 대해서 분석을 실시하여 실제적으로 하도가 유역전체를 덮고 있으며 전체적으로 하도망의 fractal 차원이 2.0에 가깝다고 제시하였다. 또한 La Barbera와 Rosso<sup>6)</sup>는 하천 차수 시스템에서 처음으로 Horton의 법칙으로부터 프랙탈 차원을 유도하였으며, 하천수

로망의 전형적인 프랙탈 차원은 1.5~2.0 범위에 있으며 평균적으로 1.6~1.7 사이에 있음을 제시하였다. 이후 Nikora<sup>7)</sup>는 하천 유역의 프랙탈 구조의 특성을 나타내는 자기상사성과 자기유사성에 관한 특성과 관련하여 기준 지표를 제시하였다.

다음으로, 국내에서의 수문지형학에 있어 프랙탈 차원에 관한 연구를 살펴보면 전민우와 조원철<sup>8)</sup>이 축척이 1/50,000, 1/25,000, 1/5000인 지형도를 이용하여 보청천의 산성교 유역에 대하여 하도길이의 프랙탈 차원을 산정한 바가 있으며, Horton의 차수 법칙을 이용하여 하도망과 하천 길이의 프랙탈 차원을 산정할 수 있는 공식을 제안하였다. 또한 성기원<sup>9)</sup>은 처음으로 하천길이의 프랙탈 성질을 강우-유출모형에 적용하였다. 성기원은 하천길이의 프랙탈 차원을 고려하여 실제 GIUH 모형의 폭함수를 작성하고 Melton의 지형법칙을 이용하여 프랙탈을 제어하였으며, 평창강의 이목적 유역에 대한 프랙탈 분석을 통해서 적절한 지형도의 축척을 제시하였다. 고영찬<sup>10)</sup>은 하천 차수에 따라서 프랙탈 차원을 별도로 산정하여, 유역의 상류에 위치한 하천들이 상대적으로 하천의 만곡도가 큰 점에 착안하여 하천 차수별로 프랙탈 차원이 다르다는 것을 제시하였으며, 하천 차수를 고려한 프랙탈 차원의 개념을 강우-유출모형에 적용하였다.

## 2. 본 문

### 2.1. 자료의 구축 및 지형인자의 추출

#### 2.1.1. DEM의 구축

GIS를 이용하여 하천의 지형학적 특성을 분석하기 위해서는 Grid 자료 형태의 고도자료가 필요하다. 이와 같은 자료를 구축하기 위하여 본 연구에서는 국립지리원의 1/5,000, 1/25,000 수치지도와 기구축된 DEM(1/50,000)을 이용하였으며, DEM을 구축하기 위해서 각 지점별 경위도좌표계에서 조준점을 추출하여 PC Arc/Info의 SML(Simple Macro Language)을 이용하여 평면직각좌표계로 변환하여 등고선 레이어 파일(.DXF)을 생성하였다. 여기서 등고선 및 표고점 자료는 전체를 대상으로 하여 집합하였으며, 집합할 때 나타나는 오류는 검토하여 보정하였다.

다음으로, 격자 방식의 DEM 자료로부터 지표면에 대한 수문학적 특성을 추출하는 요소 중 가장 중요한 것은 모든 격자로부터 흐름의 방향을 결정하는 것으로, 본 분석에서는 GIS 소프트웨어 중 ESRI사에서 제작한 ArcInfo 8.02를 사용하여 유역의 경계선 및 소유역을 분할하고, DEM 자료로 부터의 TIN해석을 거친후 흐름누적수에 따라 하천망을 결

정하였으며, 분석결과중 자동 추출된 소유역(No.1~No.6)의 경계선과 하천망을 나타내면 Fig. 2-1~2-2와 같다.

2.1.2. 지형인자의 추출 및 분석

Grid 분석시 각 소유역별 지형인자를 추출함에 있어서 격자 크기에 따른 변화를 알아보기 위해서 각 축척별(1/50,000, 1/25,000, 1/5,000)로 격자 크기를 13가지(5m×5m, 10m×10m, 20m×20m, 30m×30m, 40m×40m, 50m×50m, 60m×60m, 70m×70m, 80m×80m, 90m×90m, 100m×100m, 120m×120m, 150m×150m) 경우로 나누어 각각의 있어서의 분류하천길이를 구하여 이를 비교 분석토록 하였다. 그 결과는 Table 2-1과 같이 나타났다. 분석결과를 자세히 살펴보면, 먼저 각 격자 크기별에서 축척변화에 따른 하천길이는 축척이 커지면서 조금

씩 감소하고 있으나 그 차이가 거의 미소한 것으로 나타났다. 축척별에서 격자 크기의 변화에 따른 하천길이의 변화량은 상당히 크게 나타났다. 물론 각 유역별로 비교해도 위와 같은 비슷한 결과를 나타내고 있는 것으로 분석되었다. 따라서 GIS를 이용하여 구한 지형인자들 중 유로연장을 축척별, 격자 크기별로 비교 분석한 결과 축척률에 따른 하천길이의 변화량은 극히 미소하나 격자 크기에 따른 변화량은 상당히 크게 나타났다.

Table 2-1. Main-stream length for each scale and cell size (unit:km)

classification	cell size	scale	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
			5m	1/5,000	44.779	42.458	31.606	20.148
×	1/25,000	44.585	42.428	31.205	19.945	9.098	21.068	
5m	1/50,000	44.451	42.359	31.156	19.743	9.090	20.988	
10m	1/5,000	44.313	41.840	31.282	19.906	9.068	20.961	
×	1/25,000	44.107	41.809	30.883	19.719	8.979	20.809	
10m	1/50,000	43.903	41.777	30.834	19.521	8.930	20.740	
20m	1/5,000	43.948	41.327	30.809	19.569	8.942	20.763	
×	1/25,000	43.753	41.297	30.411	19.412	8.852	20.610	
20m	1/50,000	43.552	41.275	30.363	19.251	8.810	20.571	
30m	1/5,000	43.641	41.019	30.592	19.388	8.843	20.570	
×	1/25,000	43.449	40.989	30.197	19.209	8.743	20.426	
30m	1/50,000	43.251	40.953	30.148	19.011	8.710	20.371	
40m	1/5,000	43.513	40.715	30.451	19.309	8.759	20.461	
×	1/25,000	43.301	40.686	30.057	19.102	8.663	20.309	
40m	1/50,000	43.049	40.659	30.011	18.901	8.620	20.252	
50m	1/5,000	43.309	40.595	30.289	19.202	8.720	20.312	
×	1/25,000	43.110	40.569	29.893	19.008	8.615	20.159	
50m	1/50,000	42.903	40.538	29.843	18.850	8.560	20.108	
60m	1/5,000	43.149	40.453	30.150	19.110	8.651	20.229	
×	1/25,000	42.953	40.433	29.749	18.937	8.547	20.079	
60m	1/50,000	42.748	40.415	29.701	18.720	8.500	20.015	
70m	1/5,000	43.011	40.335	30.056	19.041	8.615	20.088	
×	1/25,000	42.808	40.311	29.610	18.839	8.510	19.950	
70m	1/50,000	42.605	40.289	29.552	18.651	8.450	19.901	
80m	1/5,000	42.913	40.228	29.979	18.959	8.583	20.027	
×	1/25,000	42.711	40.202	29.495	18.761	8.470	19.870	
80m	1/50,000	42.512	40.173	29.448	18.560	8.410	19.818	
90m	1/5,000	42.810	40.089	29.803	18.878	8.518	19.949	
×	1/25,000	42.607	40.073	29.403	18.680	8.438	19.781	
90m	1/50,000	42.415	40.057	29.355	18.479	8.370	19.722	
100m	1/5,000	42.728	39.968	29.713	18.812	8.458	19.939	
×	1/25,000	42.520	39.950	29.314	18.613	8.379	19.722	
100m	1/50,000	42.310	39.931	29.257	18.416	8.320	19.669	
120m	1/5,000	42.551	39.832	29.519	18.709	8.413	19.870	
×	1/25,000	42.353	39.821	29.118	18.511	8.353	19.631	
120m	1/50,000	42.149	39.842	29.060	18.303	8.290	19.571	
150m	1/5,000	42.354	39.539	29.282	18.547	8.347	19.688	
×	1/25,000	42.160	39.529	28.886	18.351	8.287	19.521	
150m	1/50,000	42.013	39.549	28.824	18.178	8.230	19.479	

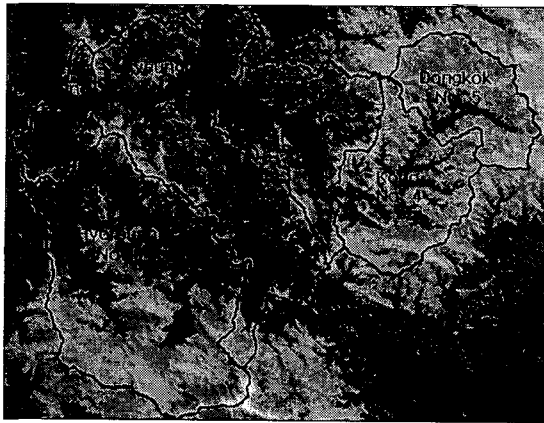


Fig. 2-1. Watershed boundary of study area. (scale:1/25,000, cell size:50m×50m)

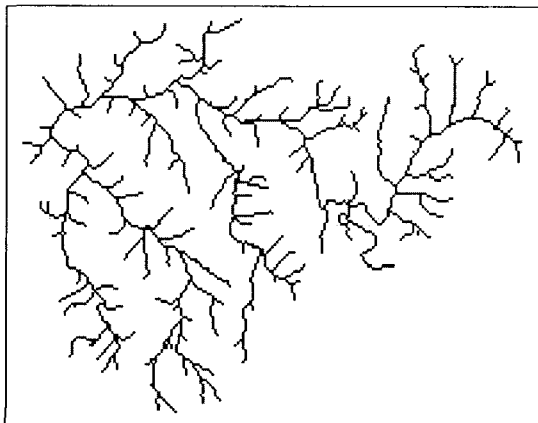


Fig. 2-2. Flow network of study area. (scale:1/25,000, cell size:50m×50m)

2.2. 프랙탈 차원의 산정

2.2.1. 프랙탈 차원의 개요

프랙탈의 일반적인 특성은 자기상사성으로 프랙탈 특성을 가지고 있는 사물은 그 위치나 규모가 변해도 원형이 가지고 있는 일반적인 기하학적인 특성이 계속 유지된다는 성질을 말한다. 즉, 이러한 프랙탈들의 중요한 특징은 그들이 다양한 규모에 대해서 닮은 형태라는 것인데, 닮은 형태란 모든 규모에 대해서 프랙탈의 특징이 규정된다는 것을 의미한다. 이러한 프랙탈 차원은 Mandelbrot가 처음 수문학에 도입함으로써 자연계에 있어서 일반화 되어졌다.

이러한 프랙탈 차원의 측정은 해안선의 길이를 측정하는 데에서 비롯되었으며 이러한 프랙탈 차원의 정확한 측정을 위한 다양한 방법들이 개발되었으나, 각기 다른 프랙탈 차원을 산출하기 때문에 이러한 프랙탈 차원은 그 수치상의 개념보다는 여러 대상자료에 대한 상대적인 비교의 개념으로 발전되어 왔다.

기존의 하천에 대한 프랙탈 차원의 측정에서 가장 기본적으로 많이 사용되는 방법 중의 하나가 기준자에 의한 방법이다. 즉, 이 방법은 해당 자료의 총길이 또는 면적을 측정하기 위한 잣대의 크기를 변화시킴에 따라 다르게 산출되는 총길이의 비율을 계산하여, 그에 따른 허르스트 상수와 최종적인 프랙탈 차원을 산정하는 방법이다.

지형도상에서 하천길이를 측정할 경우에는 과거에는 얇은 구리선을 이용하거나 디지털화된 곡선자를 이용하였고, 최근들의 CAD 시스템을 이용하여 측정을 하고 있다. 이 두가지 방법 모두 지형도의 축척에 따라 다른 값을 가지게 되며 길이는 측정자(기준자)로 사용되는 단위길이에다 사용되는 횟수를 곱한 값으로 계산하는데 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$L = NR \tag{1}$$

여기서 L은 총길이, N은 측정자의 사용횟수, R은 해당 축척에 대한 측정자의 환산길이이다.

Mandelbrot는 수문학자나 지형학자의 관심을 끄

는 정밀한 자기상사성의 대상으로 Fig. 2-3의 Koch 곡선을 예로 들어 축척에 따라 길이가 어떻게 변하는가를 보여주는가를 설명하였다.

Table 2-2. The relationship between scale and length in Koch triangle<sup>4)</sup>

Scale	Scale Rate(R)	Divided Number(N)	Total Length(L)
Small scale	1	1	1
Middle scale	1/3	4	4/3
Large scale	1/9	16	16/9

Koch의 삼각형은 Table 2-2와 같이 축척이 커짐에 따라 원래의 길이보다 4/3배씩 증가하게 되므로 축척을 계속 확대하면 최종적으로는 무한대의 길이를 갖게된다. 즉, 축척에 따라 변하는 형상을 정량화하기 위해 도입된 이론인 프랙탈 이론에 의하여 Koch의 삼각형에 대하여 비정수의 차원과 그에 해당하는 축척에 무관한 상수값을 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$F = NR^D = \text{constant} \tag{3}$$

여기서 F는 비정수차원의 프랙탈 길이, N은 분할 갯수, R은 길이의 축척율에서의 측정자의 환산길이와 동일한 의미이며, D는 프랙탈 차원이다. 또한, 불규칙한 곡선 또는 직선길이를 측정할 경우에 측정횟수 N을 구하는 관계식 (4)와 (5)를 식 (1)과 식 (3)에서 얻을 수 있다.

$$N = LR^{-1} \tag{4}$$

$$N \propto R^{-D} \tag{5}$$

따라서 측정횟수 N의 비례식인 식 (4)와 식 (5)를 정리하면 식 (6)을 얻을 수 있다.

$$L = KR^{1-D} \tag{6}$$

이러한 하천길이와 같은 불규칙한 특성을 갖는

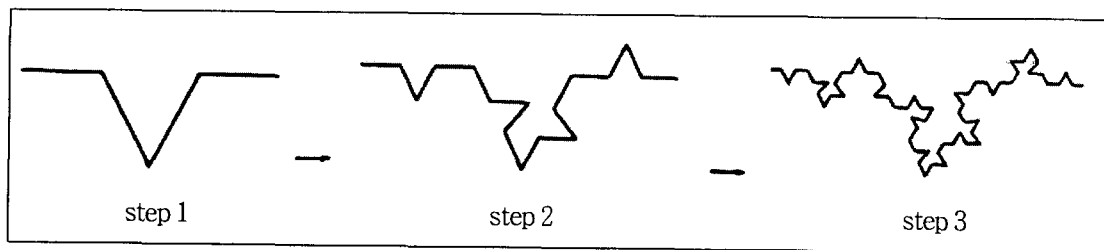


Fig. 2-3. Koch curve.

수치고도모형을 이용한 분류하천길이에 관한 프랙탈 차원의 해석

지형인자는 축척에 따라 다른 길이를 갖게 되므로 실제 하천길이의 프랙탈 차원을 구하려면 식 (6)을 log로 치환하여 식 (7)과 같이 변환시켜 사용하면 된다.

$$\log L = \log K + (1 - D)\log R \quad (7)$$

따라서, 프랙탈 차원은 축척율과 하천길이의 대수 자료를 가지고 회귀분석을 실시하여 그 회귀식의 기울기를 구한 다음 (1-기울기)로서 구할 수가 있으며, 이와 같은 방법을 Richardson 방법이라고 한다.

2.2.2. 프랙탈 차원의 산정

일반적으로 하천유역의 프랙탈 특성은 수문지형 자료의 수집에 있어서 작업대상 지형도의 축척 및 측정자의 단위에 의하여 유출에 큰 영향을 미칠수 있다는 것을 보여주고 있다. 이에 본 연구에서는 실제 하천에 있어서 지형인자들에 대한 프랙탈 차원을 보다 객관적이고 정확하게 산정하기 위하여 수치지도를 구입하여 DEM을 구축하고 GIS를 이용하

여 지형인자를 구하여 이를 분석에 이용토록 하였다.

따라서, 본 분석에서는 Table 2-1의 축척별 (1/50,000, 1/25,000, 1/5,000) 및 격자 크기별(5m×5m, 10m×10m, 20m×20m, 30m×30m, 40m×40m, 50m×50m, 60m×60m, 70m×70m, 80m×80m, 90m×90m, 100m×100m, 120m×120m, 150m×150m)의 분류하천길이를 각각 대수로 치환하여 회귀분석을 실시하였으며, 그 결과중 No.1 및 No.3 소유역에 대한 회귀분석결과를 도식화하면 Fig. 2-4~2-5와 같으며 정확한 회귀식 및 상관계수는 Table 2-3과 같다.

Fig. 2-4를 살펴보면 축척별 격자크기에 따른 분류하천길이의와의 관계는 격자크기가 커짐에 따라 하천길이가 작게 산정되었고 그 차이도 매우 미소한 것으로 나타났으나, Fig. 2-5에서는 격자크기별 축척에 따른 하천길이의 변화량은 상당히 크게 나타났다. 물론 각 소유역별로 비교해보아도 이와 비슷한 결과를 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

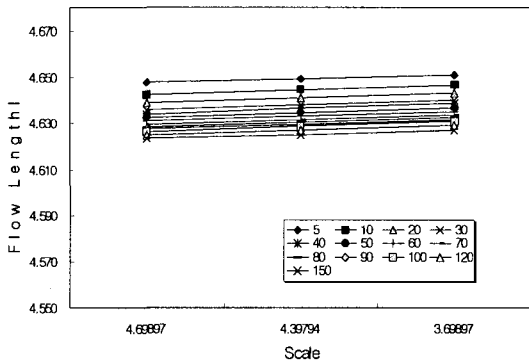


Fig. 2-4(a). River length for each cell size(No.1).

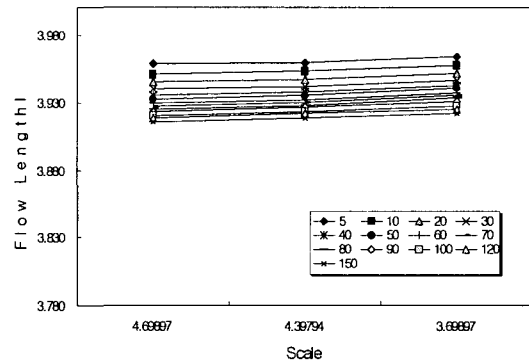


Fig. 2-4(b). River length for each cell size(No.3).

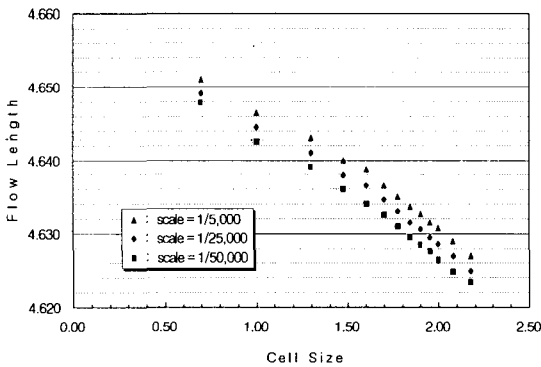


Fig. 2-5(a). River length for each cell size(No.1).

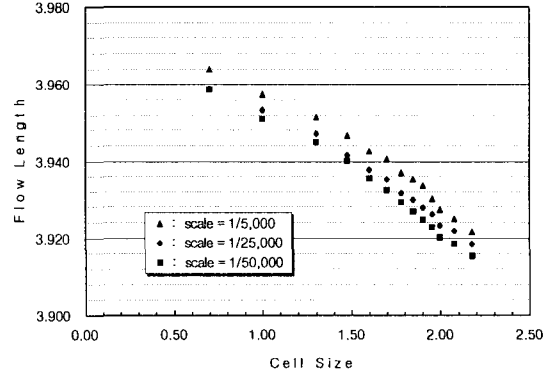


Fig. 2-5(b). River length for each cell size(No.3).

차 상 화

Table 2-3(a). Results of regression analysis for each scale rate and cell size(No.1)

Classification		Regression Formula	Correlation Coeff.(R <sup>2</sup> )
Scale	1/50,000	$Y = 45694.287 * X_c^{-0.0165173}$	0.994308
	1/25,000	$Y = 45866.1077 * X_c^{-0.0163018}$	0.989965
	1/5,000	$Y = 46062.5747 * X_c^{-0.0162075}$	0.989557
Cell Size	5mX5m	$Y = 45986.2552 * X_s^{-0.0031056}$	0.985230
	10mX10m	$Y = 45800.6842 * X_s^{-0.0038358}$	0.950503
	20mX20m	$Y = 45381.0435 * X_s^{-0.0037253}$	0.945383
	30mX30m	$Y = 45052.0579 * X_s^{-0.0036944}$	0.945326
	40mX40m	$Y = 45185.6956 * X_s^{-0.0043704}$	0.925164
	50mX50m	$Y = 44778.7367 * X_s^{-0.003874}$	0.944158
	60mX60m	$Y = 44599.9457 * X_s^{-0.003839}$	0.943435
	70mX70m	$Y = 44484.0357 * X_s^{-0.0039112}$	0.949262
	80mX80m	$Y = 44368.7354 * X_s^{-0.0038755}$	0.951147
	90mX90m	$Y = 44246.6662 * X_s^{-0.0038369}$	0.956098
	100mX100m	$Y = 44244.9899 * X_s^{-0.0040516}$	0.948020
	120mX120m	$Y = 44007.2383 * X_s^{-0.0039068}$	0.945413
	150mX150m	$Y = 43605.3134 * X_s^{-0.0033948}$	0.978383

\* Y ; Main stream length(log), X<sub>c</sub> ; Cell Size(log), X<sub>s</sub> ; Scale(log)

Table 2-3(c). Results of regression analysis for each scale rate and cell size(No.3)

Classification		Regression Formula	Correlation Coeff.(R <sup>2</sup> )
Scale	1/50,000	$Y = 32465.5782 * X_c^{-0.0224425}$	0.979692
	1/25,000	$Y = 32505.259 * X_c^{-0.0223096}$	0.980833
	1/5,000	$Y = 32890.2103 * X_c^{-0.0218316}$	0.978095
Cell Size	5mX5m	$Y = 33395.672 * X_s^{-0.0065283}$	0.961423
	10mX10m	$Y = 33063.9115 * X_s^{-0.0065661}$	0.961605
	20mX20m	$Y = 32584.2543 * X_s^{-0.0066404}$	0.960956
	30mX30m	$Y = 32358.4903 * X_s^{-0.0066533}$	0.961974
	40mX40m	$Y = 32203.3319 * X_s^{-0.006633}$	0.959799
	50mX50m	$Y = 32063.751 * X_s^{-0.006748}$	0.962621
	60mX60m	$Y = 31939.2853 * X_s^{-0.0068338}$	0.960694
	70mX70m	$Y = 32070.4802 * X_s^{-0.0076868}$	0.963745
	80mX80m	$Y = 32117.738 * X_s^{-0.0081756}$	0.953624
	90mX90m	$Y = 31588.8308 * X_s^{-0.0068981}$	0.960786
	100mX100m	$Y = 31525.6375 * X_s^{-0.0070132}$	0.967247
	120mX120m	$Y = 31343.9727 * X_s^{-0.0071041}$	0.967724
	150mX150m	$Y = 31100.1128 * X_s^{-0.0071307}$	0.970785

\* Y ; Main stream(log), X<sub>c</sub> ; Cell Size(log), X<sub>s</sub> ; Scale(log)

Table 2-3(b). Results of regression analysis for each scale rate and cell size(No.2)

Classification		Regression Formula	Correlation Coeff.(R <sup>2</sup> )
Scale	1/50,000	$Y = 43744.1421 * X_c^{-0.0196131}$	0.997072
	1/25,000	$Y = 43839.2210 * X_c^{-0.0200458}$	0.996214
	1/5,000	$Y = 43886.3839 * X_c^{-0.021791}$	0.995851
Cell Size	5mX5m	$Y = 42668.5643 * X_s^{-0.0005749}$	0.953962
	10mX10m	$Y = 42064.1275 * X_s^{-0.0006203}$	0.945688
	20mX20m	$Y = 41515.18 * X_s^{-0.00053}$	0.981235
	30mX30m	$Y = 41252.0069 * X_s^{-0.000552}$	0.924423
	40mX40m	$Y = 40915.243 * X_s^{-0.0005704}$	0.958396
	50mX50m	$Y = 40796.2088 * X_s^{-0.0005729}$	0.925406
	60mX60m	$Y = 40588.9846 * X_s^{-0.0003904}$	0.962230
	70mX70m	$Y = 40499.531 * X_s^{-0.0004734}$	0.960180
	80mX80m	$Y = 40422.8129 * X_s^{-0.0005603}$	0.935142
	90mX90m	$Y = 40202.8503 * X_s^{-0.0003234}$	0.949811
	100mX100m	$Y = 40099.3051 * X_s^{-0.0003807}$	0.942771
	120mX120m	$Y = 39988.3189 * X_s^{-0.0004261}$	0.955767
	150mX150m	$Y = 39688.1861 * X_s^{-0.0004084}$	0.956066

\* Y ; Main stream length(log), X<sub>c</sub> ; Cell Size(log), X<sub>s</sub> ; Scale(log)

Table 2-3(d). Results of regression analysis for each scale rate and cell size(No.4)

Classification		Regression Formula	Correlation Coeff.(R <sup>2</sup> )
Scale	1/50,000	$Y = 20647.7689 * X_c^{-0.024795}$	0.984528
	1/25,000	$Y = 20839.2105 * X_c^{-0.024279}$	0.986141
	1/5,000	$Y = 21016.7004 * X_c^{-0.0238186}$	0.987637
Cell Size	5mX5m	$Y = 21654.2334 * X_s^{-0.0083737}$	0.949202
	10mX10m	$Y = 21330.5415 * X_s^{-0.008209}$	0.941100
	20mX20m	$Y = 20739.311 * X_s^{-0.0067436}$	0.945577
	30mX30m	$Y = 20779.9748 * X_s^{-0.0081411}$	0.935026
	40mX40m	$Y = 20832.0289 * X_s^{-0.008209}$	0.952195
	50mX50m	$Y = 20519.8261 * X_s^{-0.0077311}$	0.971548
	60mX60m	$Y = 20543.3754 * X_s^{-0.0083728}$	0.916137
	70mX70m	$Y = 20497.9839 * X_s^{-0.0085718}$	0.957319
	80mX80m	$Y = 20444.5569 * X_s^{-0.0087594}$	0.946577
	90mX90m	$Y = 20363.8676 * X_s^{-0.0087973}$	0.946572
	100mX100m	$Y = 20288.4155 * X_s^{-0.0087761}$	0.949794
	120mX120m	$Y = 20220.102 * X_s^{-0.0090144}$	0.942004
	150mX150m	$Y = 19927.5807 * X_s^{-0.008353}$	0.963306

\* Y ; Main stream length(log), X<sub>c</sub> ; Cell Size(log), X<sub>s</sub> ; Scale(log)

수치고도모형을 이용한 분류하천길이에 관한 프랙탈 차원의 해석

Table 2-3(e). Results of regression analysis for each scale rate and cell size(No.5)

Classification	Regression Formula	Correlation Coeff.(R <sup>2</sup> )
Scale	1/50,000 Y = 21910.9606 * X <sub>c</sub> <sup>-0.0227996</sup>	0.971330
	1/25,000 Y = 21991.9644 * X <sub>c</sub> <sup>-0.0230367</sup>	0.974996
	1/5,000 Y = 22084.6581 * X <sub>c</sub> <sup>-0.9888815</sup>	0.987084
Cell Size	5mX5m Y = 21995.3623 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0043016</sup>	0.992879
	10mX10m Y = 21797.0235 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0045889</sup>	0.999816
	20mX20m Y = 21503.2935 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0041335</sup>	0.989298
	30mX30m Y = 21326.7779 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0042471</sup>	0.999334
	40mX40m Y = 21257.419 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0044896</sup>	0.999118
	50mX50m Y = 21092.6462 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0044391</sup>	0.997066
	60mX60m Y = 21040.7975 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0046198</sup>	0.999998
	70mX70m Y = 20800.6019 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0041008</sup>	0.998290
	80mX80m Y = 20827.723 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0046149</sup>	0.996931
	90mX90m Y = 20818.6772 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0050203</sup>	0.998115
	100mX100m Y = 20992.3185 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0061758</sup>	0.987873
	120mX120m Y = 21039.6783 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0067494</sup>	0.988871
	150mX150m Y = 20496.8485 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0047508</sup>	0.988855

\* Y ; Main stream length(log), X<sub>c</sub> ; Cell Size(log), X<sub>s</sub> ; Scale(log)

앞에서 회귀분석을 실시하여 기울기 및 상관계수를 구할 수 있었으며(Table 2-3참조), 여기서 프랙탈 차원은 1 - D(기울기)가 된다(Richardson, 1961). 이와 같이 구한 유역별 하천에 대한 분류하천길이에 대한 프랙탈 차원은 Table 2-4와 같으며, 분석결과를 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 격자 크기별 축척에 따른 분류하천길이에 대한 프랙탈 차원은 1.0004~1.0088로 나타나 축척을 변화에 따른 지형인자 즉, 하천길이의 변화는 거의 없는 것으로 분석되었으며 다음으로, 축척별 격자 크기에 따른 분류하천길이에 대한 프랙탈 차원은 1.0160~1.0299로 나타나 격자크기가 변함에 따라 하천길이가 상당히 크게 차이가 나는 것으로 분석되었다.

마지막으로 앞에서 구한 각 유역별 분류하천길이를 전체 유역에 대한 평균치를 구하여 다시 프랙탈 차원을 산정해본 결과 1.028로 나타났다. 물론 본 연구에서 산정된 프랙탈 차원의 정확성 및 신뢰도를 알아보기 위하여 기존의 하천에 관한 프랙탈에 관한 연구결과들을 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 외국의 경우를 살펴보면 Mandelbrot<sup>3)</sup>가 주 하천길이에 유역면적의 관계식상의 지수승의 2배로 볼 수 있다고 최초로 제안하였고, Hjelmelt<sup>4)</sup>는 미국

Table 2-3(f). Results of regression analysis for each scale rate and cell size(No.6)

Classification	Regression Formula	Correlation Coeff.(R <sup>2</sup> )
Scale	1/50,000 Y = 9592.01448 * X <sub>c</sub> <sup>-0.0128801</sup>	0.986078
	1/25,000 Y = 9587.17742 * X <sub>c</sub> <sup>-0.0258111</sup>	0.984314
	1/5,000 Y = 9712.1146 * X <sub>c</sub> <sup>-0.0289412</sup>	0.975417
Cell Size	5mX5m Y = 9663.9629 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0051115</sup>	0.945760
	10mX10m Y = 9591.16324 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0052001</sup>	0.996161
	20mX20m Y = 9445.7313 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0042222</sup>	0.999560
	30mX30m Y = 9358.27112 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0040009</sup>	0.996882
	40mX40m Y = 929.8474 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0046251</sup>	0.999800
	50mX50m Y = 9332.52199 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0046319</sup>	0.997535
	60mX60m Y = 9231.77135 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0047621</sup>	0.999822
	70mX70m Y = 9245.22567 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0048013</sup>	0.994799
	80mX80m Y = 9247.70845 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0048159</sup>	0.997156
	90mX90m Y = 9069.60421 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0048391</sup>	0.967396
	100mX100m Y = 8974.56903 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0049113</sup>	0.979218
	120mX120m Y = 8863.40482 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0048013</sup>	0.942553
	150mX150m Y = 8777.1402 * X <sub>s</sub> <sup>-0.0048913</sup>	0.955286

\* Y ; Main stream length(log), X<sub>c</sub> ; Cell Size(log), X<sub>s</sub> ; Scale(log)

Table 2-4. Fractal dimension for each scale and cell size

Classification	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	
Scale	1/50,000	1.0165	1.0196	1.0224	1.0245	1.0299	1.0228
	1/25,000	1.0163	1.0200	1.0223	1.0242	1.0283	1.0230
	1/5,000	1.0162	1.020	1.022	1.0238	1.0289	1.0220
Cell Size	5mX5m	1.0031	1.0006	1.0065	1.0084	1.0043	1.0058
	10mX10m	1.0038	1.0006	1.0066	1.0080	1.0066	1.0066
	20mX20m	1.0037	1.0005	1.0066	1.0067	1.0041	1.0164
	30mX30m	1.0037	1.0007	1.0067	1.0081	1.0042	1.0167
	40mX40m	1.0044	1.0006	1.0066	1.0088	1.0045	1.0169
	50mX50m	1.0039	1.0006	1.0067	1.0077	1.0044	1.0080
	60mX60m	1.0038	1.0004	1.0068	1.0084	1.0046	1.0076
	70mX70m	1.0039	1.0005	1.0077	1.0085	1.0041	1.0083
	80mX80m	1.0039	1.0006	1.0082	1.0088	1.0046	1.0087
	90mX90m	1.0038	1.0003	1.0069	1.0088	1.0050	1.0073
	100mX100m	1.0041	1.0004	1.0070	1.0088	1.0062	1.0069
	120mX120m	1.0039	1.0004	1.0071	1.0090	1.0068	1.0061
	150mX150m	1.0034	1.0004	1.0071	1.0084	1.0048	1.0058

Missouri 지역의 8개 하천을 대상으로 하천연장의 프랙탈 차원을 산정하여 1.158이라는 fractal 차원을 제시하였다. Robert 와 Roy<sup>11)</sup>는 캐나다 Eaton 하천을 대상으로 프랙탈 차원을 산정한 결과 1.085를 제시하였다.

다음으로 국내의 경우를 살펴보면 전민우와 조원철<sup>8)</sup>은 금강수계내 보청천유역의 산성 소유역을 대상으로 하천연장에 대한 연구한 결과 하천연장에 대한 프랙탈 차원을 1.023이라고 제시하였다. 성기원<sup>9)</sup>이 평창강 유역내 이목정소유역을 대상으로 하천연장에 대한 프랙탈 차원을 산정하여 1.131이라는 수치를 제안하였다. 또한 고영찬<sup>10)</sup>도 평창강 유역내 이목정소유역을 대상으로 하천차수별로 하천연장에 대한 프랙탈 차원을 산정하여 1.027이라는 수치를 마지막으로 제안하였다.

따라서, 기존의 연구결과와 본 분석에서 산정된 분류하천길이에 대한 프랙탈 차원을 비교해 본 결과, 상당한 차이가 있는 것으로 나타났다. 하지만 그 이유는 위의 연구들은 모두가 축척 크기에 따른 지형인자들의 상관성을 분석하여 프랙탈 차원을 산정하였고, 본 연구에서는 GIS를 이용하여 동일 축척별 (1/50,000, 1/25,000, 1/5,000) 격자크기 즉, 축척기기를 변환시키면서 구한 지형인자들의 상관성을 분석하여 프랙탈 차원을 산정하였기 때문에 이러한 차이를 보이고 있는 것으로 보이며, 향후 이에 관한 더 정밀한 연구가 있어야 되리라고 본다.

본 분석결과를 전체적으로 요약하면, 격자 크기별 축척을 변화에 따른 분류하천길이에 대한 프랙탈 차원은 거의 미소한 값으로 나타났으며, 축척별 격자크기 변화에 따른 분류하천길이에 대한 프랙탈 차원은 상당히 크게 나타나 하천유역에 있어서 수문환경 분석, 유사량 및 홍수량 산정시 상당한 영향을 미칠것으로 분석되었다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 최근 사용량이 급증하고 GIS를 이용하여 하천유역의 각종 지형정보를 획득하여 이를 이용하여 하천수문환경 및 강우-유출 관계를 해석함에 있어 반드시 필요한 분류하천길이를 DEM을 활용하여 보다 정확하고 객관적인 방법으로 추출하고, 여기서 추출된 인자와 격자 크기 및 축척률과의 상관관계를 분석하여 실제 하천유역의 프랙탈 특성을 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) GIS를 이용하여 하천의 분류하천길이를 축척별 및 격자 크기별로 추출하여 인자들과의 상관관계를 분석한 결과, 축척별 격자크기에 따른 분류하천길이와의 관계는 격자크기가 커짐

에 따라 하천길이가 작게 산정되었고 그 차이도 매우 미소한 것으로 나타났으나, 격자크기별 축척에 따른 하천길이의 변화량은 상당히 크게 나타났다. 물론 각 소유역별로 비교해보아도 이와 비슷한 결과를 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

- 2) 각 소유역별 프랙탈 차원의 산정결과, 격자 크기별 축척에 따른 분류하천길이에 대한 프랙탈 차원은 1.0004~1.0088로 나타나 축척률변화에 따른 지형인자 즉, 하천길이의 변화는 거의 없는 것으로 분석되었으며 다음으로, 축척별 격자 크기에 따른 분류하천길이에 대한 프랙탈 차원은 1.0160~1.0299로 나타나 격자크기가 변함에 따라 하천길이가 상당히 크게 차이가 나는 것으로 분석되었다.
- 3) 따라서 하천유역에 수문환경 분석시 특히, 분류하천길이를 추출하여 사용하여 유사량 및 홍수량 산정시 DEM 구축에 이용되는 수치지도의 축척과 격자 크기가 그 결과에 상당한 영향을 미칠 것으로 판단된다.

그러므로, 향후 이러한 하천유역의 프랙탈 차원이 수문환경 분석시 결과에 미치는 정량적 해석에 관한 연구가 계속 이루어져야 할 것으로 사료된다.

### 요 약 문

본 연구는 DEM을 활용하여 하천유역에 있어서 분류하천길이에 대한 프랙탈 특성을 분석하는데 목적을 두고 분석을 실시하였다. 따라서 본 연구에서는 GIS를 이용하여 대상유역의 DEM을 구축한 후 축척별 및 격자 크기별로 분류하천길이를 추출하였으며, 여기서 추출된 하천길이와 축척률 및 격자크기와의 상관분석을 통하여 각 유역별 프랙탈 차원과 상관계수를 산정하였다. 프랙탈 차원의 산정결과 1.028로 나타나 분류하천길이는 격자크기의 변화에 상당한 영향을 받는 것으로 분석되었다. 따라서 DEM을 이용하여 하천유역의 수문환경, 유사량 및 홍수유출량을 산정할 경우에는 격자크기 및 축척률이 결과에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

### 참 고 문 헌

- 1) ESRI, 1991, Surface Modeling with TIN. Redland CA., ESRI Inc..
- 2) Richardson, L. F., 1961, The Problem of Contiguity : An Appendix of Statistics of Deadly Quarrels, Gen. Syst. Yearb., 6, 139-187.
- 3) Mandelbrot, B. B., 1983, The Fractal Geometry of Nature, New York : W. H. Freeman, P. 111.



수치고도모형을 이용한 본류하천길이에 관한 프랙탈 차원의 해석

- 4) Hjelmfelt, A. T., 1988, Fractals and the River Length-Catchment Area Ratio, *Water Resour. Bull.*, 24, 455-370.
- 5) Tarboton, D. G., R. L. Bras, and I. Rodriguez-Itrube, 1988, The Fractal Nature of River Networks, *Water Resources Research*, 24(8), 1317-1322.
- 6) P. La Barbera, and Ross, R., B. Bacchi, 1991, Fractal Relation of Mainstream Length to Catchment Area in River Networks, *Water Resources Research*, 27(3), 381-387.
- 7) Nikora, V. I., 1994, On Self-Similarity and Self-Affinity of Drainage Basins, *Water Resources Research*, 30(1), 133-137.
- 8) 전민우, 조원철, 1992, 지형도 축척에 따르는 하천 수로망과 본류 하천길이에 관한 Fractal Dimension, *대한토목학회논문집*, *대한토목학회*, 12(4-1), 97-106.
- 9) 성기원, 1994, 유역의 자기상사성을 이용한 수문 지형학적 응답의 해석, *박사학위논문*, 서울대학교.
- 10) 고영찬, 1996, 하천차수를 고려한 프랙탈 차원의 산정 및 적용, *박사학위논문*, 서울대학교.
- 11) Robert, A., and A. G. Roy, 1990, On the Fractal Interpretation of the Main-stream Length - Drainage Area Relationship, *Water Resources Research* 26(5), 839-842.