

GIS를 이용한 하천유역의 프랙탈 특성 분석

차상화¹ · 권기욱²

The Analysis of Fractal Characteristics in River Basin using GIS

Sang-Hwa CHA¹ · Kee-Wook KWON²

요 약

본 연구는 지리정보시스템을 이용하여 하천유역에 있어서 프랙탈 특성을 분석하고자 하였다. 따라서 본 분석에서는 GIS를 이용하여 격자크기별 지형특성인자(유역면적, 유로연장, 유로중심장)를 산정하였으며, 여기서 산정된 인자들과 격자크기와의 상관분석을 통해서 상관계수 및 상관식을 유도하고, 또한 각 지형인자별 프랙탈 차원을 산정하였다. 격자크기에 대한 프랙탈 차원의 산정결과는 유로연장, 유역면적 및 유로중심장이 각각 1.028, 1.0026, 1.0061로 나타났다. 즉, 격자크기가 변함에 따라 가장 큰 영향을 받는 지형인자는 유로연장인 것으로 분석되었다.

주요어: 지리정보시스템, 프랙탈 차원, 지형특성인자

ABSTRACT

This study analyzed fractal characteristics of river basin by using GIS. In this study, topographical factors in river basin was grid-analyzed for each cell size by using GIS and regression formula was derived by analyzing correlation among topographical factors and cell size which were calculated here. And, analysis of fractal characteristics of river by using the result calculated from 1) showed that among topographical factors, river length only increases according as cell size increases. The result of calculating fractal dimension for each cell size shows that river length, basin area, and centroidal flow path are 1.028, 1.0026 and 1.0061 respectively.

KEYWORDS: GIS, Fractal Dimension, Topographical Factor

2001년 12월 1일 접수 Received on December 1, 2001

¹ 안동과학대학 토목과 (tnwkdjns@lycos.co.kr) Dept. of Civil Engineering, Andong Science College

² 대구과학대학 측지정보과 (kkw@mail.taegu-c.ac.kr) Dept. of Geodetic Information, Taegu Science College

서 론

지리정보시스템(geographic information system; GIS)란 '지리적으로 참조 가능한 모든 형태의 정보를 효과적으로 수집, 저장, 갱신, 조정, 분석, 표현할 수 있도록 설계된 컴퓨터의 하드웨어와 소프트웨어 및 지형 자료 그리고 인적 자원의 통합체'라고 말할 수 있다.

이러한 지리정보 시스템의 특징으로는 공간의 특성, 즉 도형과 같은 자료가 수치형태로 처리됨으로써 많은 양의 자료가 빠른 속도와 적은 비용으로 관리되고 검색될 수 있고, 사칙연산 및 논리연산에 의해 다양한 분석과 조작이 가능하며, 상대적으로 수작업에 의한 분석작업과 비교하여 그 정밀성과 빠른 속도는 비교가 될 수 없을 정도이다.

따라서 GIS는 현재 그 활동분야가 사회 전 분야에 걸쳐 매우 급속히 확산되어 가고 있는 추세이며, 이용되고 있는 분야도 도시계획, 토지이용, 교통공학, 토목공학, 수자원공학, 환경공학, 천연자원의 관리, 산림연구, 지도제작, 군사작전 등 매우 광범위해지고 있다.

특히, 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 있다. 그러나, 1970년대 후반들어 지형도 축척에 따라 측정되는 하천의 지형인자의 크기가 변한다는 프랙탈 이론이 Mandelbrot(1982)에 의하여 등장하면서부터 기존의 하천지형정보 추출시 GIS를 이용함에 있어서 반드시 거쳐야 하는 과정인 그리드(GRID)분석에 있어 셀 크기 및 지도의 축척에 따른 영향성에 대한 검토가 제기되기 시작하였다.

프랙탈 차원에 관한 국외의 주요 연구 사례들을 살펴보면, 먼저 Mandelbrot(1982)는 영

국의 해안선 길이를 측정하면서 지형도의 축척에 따라서 길이가 다르다는 것을 밝히면서 자연현상의 복잡성을 설명하기 위하여 이전의 일반적인 기하학과는 다른 프랙탈 기하학을 도입하여 하천의 프랙탈 차원을 1.136이라고 제시하였다. Hjelmfelt(1988)는 미국의 미소리주에 있는 8개의 하천에 대해서 유역면적과 유로연장을 측정하여 프랙탈 차원을 1.158로 제시하였고, La Barbera와 Rosso(1987)는 하천 차수 시스템에서 처음으로 Horton의 법칙으로부터 프랙탈 차원을 유도하고, 하천수로망의 전형적인 프랙탈 차원은 1.5~2.0 범위에 있으며 평균적으로 1.6~1.7 사이에 있음을 제시하였다. 또한 Tarboton 등(1988)은 DEM자료를 이용하여 하도망의 프랙탈 차원에 대해서 분석하여 하도망의 프랙탈 차원이 2.0에 가깝다고 제시하였으며, Rosso 등(1991)은 Horton의 차수법칙을 이용하여 하천길이의 프랙탈 차원과 하도망의 프랙탈 차원을 구하는 방법들을 제시하였다. 더 나아가서 Marani 등(1991)은 유역의 지형학적인 형상을 프랙탈 이론으로 접근하여 검토하였으며, 하도망의 프랙탈 특성이 수문학적인 응답에 미치는 영향에 대한 연구를 시도하였다.

또한 국내에서는 프랙탈 이론을 수문지형학에 적용한 연구가 많지 않다. 먼저 전민우와 조원철(1992)이 축척이 1/50,000, 1/25,000, 1/5,000인 지형도를 이용하여 보청천의 산성교 유역에 대하여 하도길이의 프랙탈 차원을 산정하고 Horton의 차수법칙을 이용하여 하도망과 하천 길이의 프랙탈 차원을 산정할 수 있는 공식을 제안하였으며, 성기원(1994)은 처음으로 하천길이의 프랙탈 성질을 강우-유출모형에 적용하여 하천길이의 프랙탈 차원을 고려하여 실제 GIUH 모형의 폭함수를 작성하고 Melton의 지형법칙을 이용하여 프랙탈을 제어하였으며, 평창강의 이목정 유역에 대한 프랙탈 분석을 통해서 적정한 지형도의 축척을 제시하였다. 또한 고영찬(1996)은 하천 차수에

따라서 프랙탈 차원을 별도로 산정하여, 하천 차수를 고려한 프랙탈 차원의 개념을 강우-유출모형에 적용하였다.

지금까지 국내외의 연구동향에 관하여 살펴본 결과, 현재까지의 거의 모든 연구가 소유역에서 이루어졌고, 또한 격자크기에 대한 프랙탈 특성에 관한 분석은 이루어지지 않았으며, 특히 프랙탈 차원의 산정시 측정자의 단위(기준)을 변화시켜서 분석을 실시하여야 함에도 불구하고 지형도의 축척률을 변화시켜 분석을 실시하였다는 점을 알 수 있었다.

따라서, 본 연구에서는 실제 하천유역의 지형인자 중 유로연장, 유역면적 및 유로중심장에 대한 프랙탈 차원을 GIS를 이용하여 보다 정확하고 객관적인 방법으로 산정하여 프랙탈 특성을 규명하는데 목적을 두었다.

프랙탈 차원

1. 프랙탈 차원의 정의

일반적으로 프랙탈 특성이란 사물이 본래부터 가지고 있던 기하학적 특성은 그 위치나 규모가 변해도 그 특성은 계속 유지된다는 성질을 말한다. 즉, 이러한 프랙탈의 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 일반화되어졌다. Mandelbrot(1982)는 그의 저서 'The Fractal Geometry of Nature'에서 이러한 새로운 학문분야에 대해서 프랙탈 기하라는 개념을 도입하였다. 따라서 그의 저서는 현재 프랙탈 개념을 응용하고 발전시키는데 기본서가 되었다. 더우기 다양한 전산시스템의 개발과 그래픽 기술의 발달에 따라 이러한 프랙탈 이론은 더욱 가시화 되면서 많은 분야의 과학자들로 하여금 지대한 관심을 유도시키고 있다.

프랙탈 차원은 대상자료값의 위치에 대한 기하학적인 불규칙성을 규정하는 방법으로 유클리드 차원과는 다른 값을 보인다. 즉, 격인 직선의 경우 유클리드 기하학에서는 1차원으로 보나, 프랙탈에서는 1차원과 2차원의 사이로 본다. 또한 여러번 꺾이고 그 정도가 클수록 2차원에 가깝고 적을수록 1차원에 가깝다고 규정하고 있다. 즉, 기본적인 유클리드 차원에서 0과 1사이의 실수값이 더해진다고 할 수 있다. 여기서 0과 1사이의 실수값을 허르스트 상수라고 하여 프랙탈 차원의 측정에 있어서 가장 큰 기준이 되는 값이다. 이러한 허르스트 상수는 프랙탈 차원의 규명과 동시에 대상 자료의 프랙탈 특성을 나타내는 기본이 된다.

Mandelbrot는 스웨덴의 수학자 Holze Van Koch가 제안한 Koch 곡선을 예로 들어 프랙

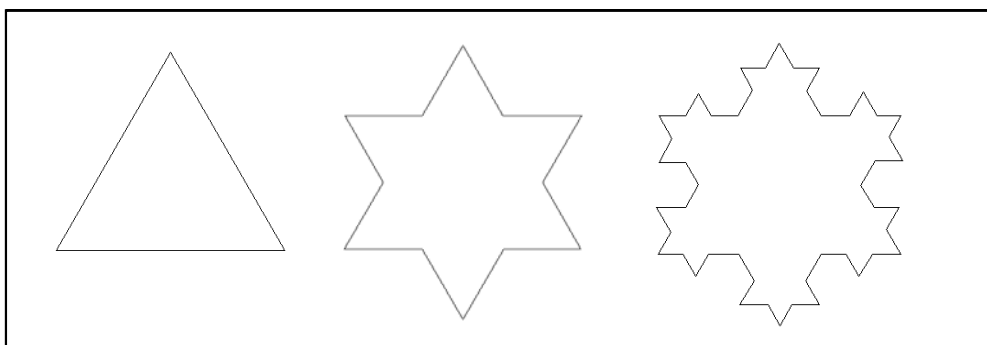


FIGURE 1. Koch curve

탈 특성에 관하여 설명하였다. Koch곡선이란 그림 1과 같이 직선을 삼등분하여 가운데 부분을 밑변으로 하는 정삼각형을 만드는 것으로, 처음 직선이 단위 길이라면 결과적으로 생기는 선의 길이는 $4/3$ 가 된다. 한번 더 반복해서 생성되는 선의 길이는 $(4/3)^2$ 이 된다. 이러한 과정을 무한히 반복하면 자기상사성이 있는 무한한 길이를 갖는 연속된 길이가 되며, 이러한 성질을 프랙탈이라고 하였다.

2. 프랙탈 차원과 지형인자와의 관계

Mandelbrot(1982)가 프랙탈의 개념을 처음으로 수문지형학에 도입하여 하천연장과 유역면적과의 관계를 제안하면서 이 프랙탈 이론이 수문학자들에 의해 연구가 시작되었다.

Mesa와 Gupta(1987)는 하천의 지형인자들 중 유역면적과 유로연장의 관계를 상당히 중요한 요소로 생각하고 하도 링크의 길이와 지수확률 분포이며 무작위 모형이라는 가정하에 본류 유로연장(L_m)과 유역면적(A)과의 관계를 식 (1)과 같이 제시하였다.

$$L_m = kA^b \quad (1)$$

여기서, L_m 은 유로연장, A 는 유역면적, k 와 b 는 상수이다. 식 (1)에서 알 수 있듯이 유로연장은 유역면적의 지수승으로 표시되며, 일반적으로 지수승인 b 는 아주 큰 유역을 제외하고는 0.5 이상의 값을 가지게 되고, 유역의 형상은 면적이 커짐에 따라 더욱 길쭉한 형상을 갖는 것으로 추정되었다.

일반적으로 기하학적 상이성을 가지는 하천에서는 하천연장과 유역면적의 제곱근에 비례(Rosso 등, 1991)하여야 한다. 그런데 유역면적의 지수승이 0.5보다 큰 이유는 유역의 발달과정상에 자연적으로 이형적인 성질을 갖기 때문인 것으로 해석해 왔다.

그런데 Mandelbrot는 이같은 주하천길이와 유역면적과의 관계는 서로 다른 축척으로 측

정한 하천길이의 차이 때문에 발생하는 프랙탈 성질 때문에 발생하는 것이고, 그 경우에 있어서 유역의 하천길이에 대한 프랙탈 차원은 유역면적의 지수승의 2배가 된다고 하였다. 이러한 결과는 모든 하천과 그 유역은 서로 상사성이 있다는 가정하에서 유도된 것이다.

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 기준자(측정자)에 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, 최근들어 CAD 시스템을 이용하여 측정을 하고 있다. 이 두가지방법 모두 지형도의 축척에 따라 다른 값을 가지게 되며 길이는 측정자(기준자)로 사용되는 단위길이에다 사용되는 횟수를 곱한 값으로 계산되는데 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$L = NR \quad (2)$$

여기서 L 은 총길이, N 은 측정자의 사용횟수, R 은 해당 축척에 대한 측정자의 환산길이이다.

Mandelbrot(1983)는 수문학자나 지형학자의 관심을 끄는 정밀한 자기상사성의 대상으로 Holze Van Koch(1904)가 제안한 Koch곡선을 예로 들어 축척에 따라 길이가 어떻게 변하는가를 보여주는가를 설명하였다.

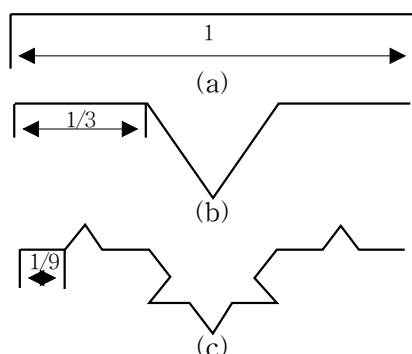


FIGURE 2. The relationship between scale and length in Koch triangle (a) original scale, (b) three times in largement, (c) nine times in largement

따라서 축척에 따라 변하는 형상을 정량화 하기 위해 도입된 이론인 프랙탈 이론에 의하여 코흐 삼각형에 대하여 비정수의 차원과 그에 해당하는 축척에 무관한 상수값을 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$F = NR^D = \text{constant} \quad (3)$$

여기서 F 는 비정수차원의 프랙탈 길이, N 은 분할갯수, R 은 길이의 축척율에서의 측정자의 환산길이와 동일한 의미이며, D 는 프랙탈 차원이다. 또한, 불규칙한 곡선 또는 직선길이를 측정할 경우에 측정횟수 N 을 구하는 관계식 (4)와 (5)를 식 (1)과 식 (3)에서 얻을 수 있다.

$$N = LR^{-1} \quad (4)$$

$$N \sim R^{-D} \quad (5)$$

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

$$L = KR^{1-D} \quad (6)$$

이러한 하천길이와 같은 불규칙한 특성을 갖는 지형인자는 축척에 따라 다른 길이를 갖게 되므로 실제 하천길이의 프랙탈 차원을 구하려면 식 (6)을 log로 치환하여 식 (7)과 같

이 변환시켜 사용하면 된다.

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

따라서, 프랙탈 차원은 축척율과 하천길이의 대수자료를 가지고 회귀분석을 실시하여 그 회귀식의 기울기를 구한 다음 (1-기울기)로서 구할 수가 있으며, 이와 같은 방법을 Richardson(1961) 방법이라고 한다.

식 (6)에서 중축척과 소축척에 대한 관계식을 각각 구한후 이 관계식의 양변을 나누면 식 (8)을 구할 수 있다. 여기서 m , s 는 각각 중축척과 소축척을 나타낸다.

$$L_s/L_m = (R_s/R_m)^{1-D} \quad (8)$$

자료의 수집 및 분석

1. 유역의 개황

본 분석 대상 유역인 위천은 국제수문개발 계획(IHP) 대표유역으로서, 먼저 분석유역의 특성을 살펴보면 낙동강 중류부 좌안에 위치하고 있으며, 남북이 짧고, 동서가 길며 유역의 경계부가 산악으로 둘러싸여 있고 본류를 중심으로 상류는 깊은 협곡을 이루고 있으나 하류부는 비교적 평탄한 구릉을 형성하면서 소규모의 평야지대를 이루고 있다. 또한 유역의 형상을 조사해보면 유역면적은 472.53km², 유로연장은 42.83km, 지류와 본류의 총연장은 743.32km이다(국제수문개발계획(IHP) 대표유역 연구조사보고, 건설부, 1983.12).

2. 자료의 수집

GIS를 이용하여 하천의 프랙탈 특성을 분석하기 위해서는 그리드 자료 형태의 고도자료가 필요하다. 이와 같은 자료를 구축하기 위하여 본 연구에서는 국립지리원의 1/25,000 수치지도를 이용하였으며, ESRI사에서 제작된 GIS 소프트웨어 중 ArcInfo 8.02을 사용하여 DEM을 구축하였다.

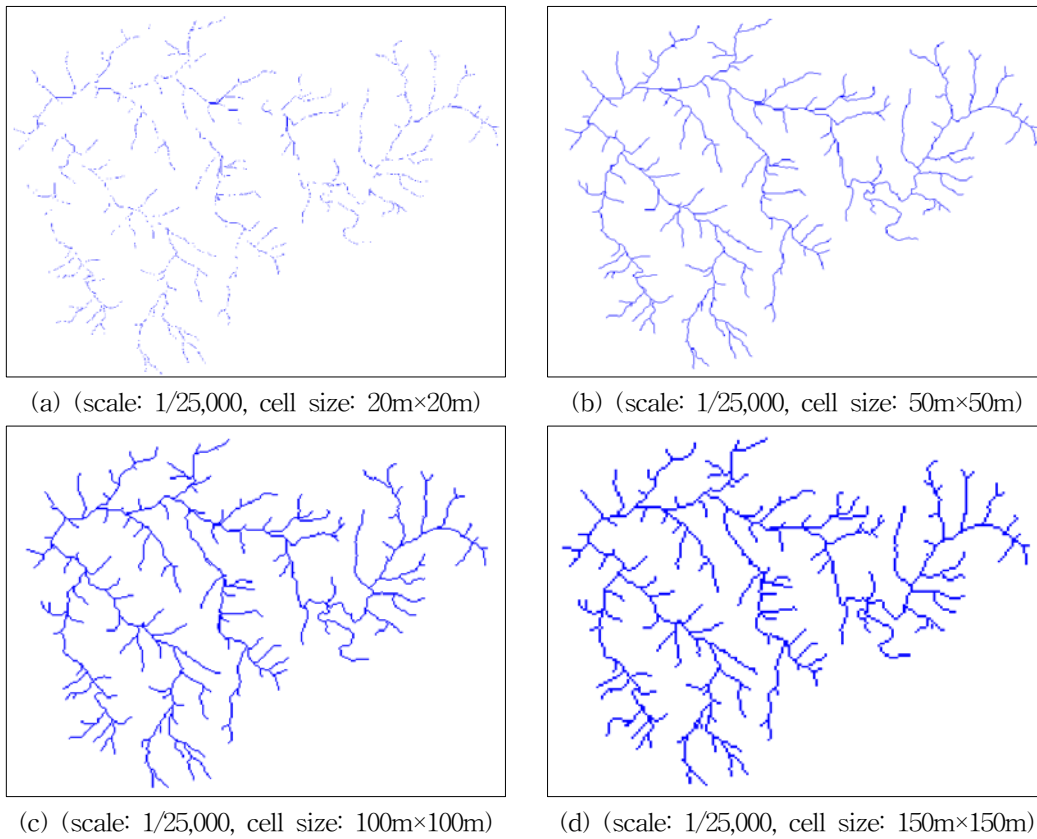


FIGURE 3. Flow network of study area

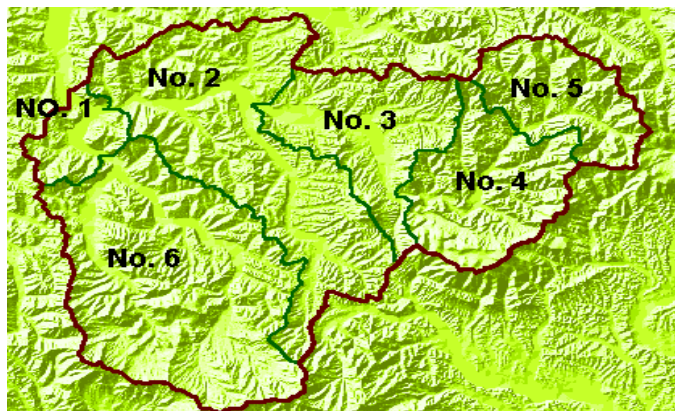


FIGURE 4. Watershed boundary as a result of GRID analysis(cell size: 20m×20m)

구축된 격자 방식의 DEM 자료로부터 유역의 경계선 및 소유역을 분할하고 또한 TIN 해석을 거친 후 흐름누적수에 따라 하천망을 결정하였으며, 그 결과는 그림 3과 같다.

또한, 유역경계란 강우의 발생시 일정지점의 유출에 기여하는 집수구역으로서, 이는 DEM을 이용하여 효과적으로 추출해 낼 수 있으며, 유역 경계의 발생은 하천 각 지점으로 유입하는 소유역 분할에 이용되며, 본 연구에서는 분석대상 유역을 6개의 소유역 즉, 무성(No.1), 병천(No.2), 미성(No.3), 고노(No.4), 동곡(No.5), 효령(No.6)으로 분할하는데 이용토록 하였다.

그림 4에서는 축척 1/25,000의 수치지도에서 격자크기를 20m×20m로 하여 Arc/Info 8.02에서 GRID 해석을 실시하여 자동 추출된 소유역(No.1~No.6)의 경계선을 나타내고 있다.

3. 자료의 분석

일반적으로 실제 지형도상의 하천으로 표기된 것을 실제 하천으로 보는 것이 GIS를 이용할 경우의 일반적 방법이지만 본 연구에서

는 국립지리원에서 발행하는 1/25,000 수치지도를 입수하여 각 유역에 대하여 Grid 분석을 실시하였다.

Grid 분석시 각 소유역별 지형인자를 추출함에 있어서 격자 크기에 따른 변화를 알아보기 위해 격자 크기를 13가지(5×5m, 10×10m, 20×20m, 30×30, 40×40m, 50×50m, 60×60m, 70×70m, 80×80m, 90×90m, 100×100m, 120×120m, 150×150m) 경우로 나누어 각각 지형인자들을 구하여 이를 비교 분석토록 하였으며 결과는 표 1~3과 같다.

분석결과, 격자 크기에 따른 유역면적 및 유로중심장의 변화량은 극히 미소하다는 것을 알 수 있다. 물론 각 유역별로 비교해 보아도 거의 비슷한 결과를 나타내고 있으나 격자 크기에 따른 유로연장의 변화량은 상당히 크게 나타났다. 물론 각 유역별로 비교해도 위와 같은 비슷한 결과를 나타내고 있는 것으로 분석되었다. 그러므로 수문분석 결과에도 상당한 영향을 미칠것으로 판단된다.

TABLE 1. Basin area for each cell size

		(unit:km ²)					
Subbasin	Scale	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
	5m×5m	475.681	305.581	173.262	111.444	47.404	151.915
	10m×10m	474.792	304.368	172.858	111.359	47.155	151.765
	20m×20m	473.854	303.044	172.683	111.163	46.850	151.451
	30m×30m	473.154	302.105	172.452	109.951	46.693	151.145
	40m×40m	472.623	301.615	172.029	109.775	46.454	150.856
	50m×50m	472.243	301.029	171.763	109.649	46.255	150.966
	60m×60m	471.757	300.605	171.342	109.354	46.113	150.753
	70m×70m	471.381	300.200	171.114	109.185	45.830	150.564
	80m×80m	471.062	299.514	170.989	108.963	45.823	150.454
	90m×90m	470.639	298.903	170.664	108.854	45.658	150.344
	100m×100m	470.417	298.334	170.473	108.648	45.469	150.146
	120m×120m	470.161	298.015	170.034	108.351	45.250	149.835
	150m×150m	469.491	297.702	169.663	107.949	45.185	149.682

TABLE 2. Centroidal flow path for each cell size

		(unit:km)					
Scale	Subbasin	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
	5m×5m		20.822	17.760	18.910	9.851	4.034
10m×10m		20.705	17.699	18.844	9.762	4.006	8.228
20m×20m		20.625	17.650	18.800	9.725	3.987	8.205
30m×30m		20.535	17.595	18.731	9.694	3.974	8.182
40m×40m		20.508	17.578	18.703	9.668	3.962	8.162
50m×50m		20.467	17.549	18.666	9.647	3.954	8.150
60m×60m		20.429	17.515	18.621	9.639	3.947	8.139
70m×70m		20.406	17.498	18.594	9.631	3.941	8.125
80m×80m		20.391	17.465	18.568	9.619	3.937	8.109
90m×90m		20.361	17.443	18.547	9.611	3.933	8.098
100m×100m		30.349	17.425	18.522	9.601	3.927	8.085
120m×120m		20.340	17.415	18.500	9.595	3.922	8.072
150m×150m		20.325	17.410	18.471	9.584	3.914	8.051

TABLE 3. River length for each cell size

		(unit:km)					
Scale	Subbasin	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
	5m×5m		44.585	42.428	31.205	19.945	9.098
10m×10m		44.107	41.809	30.883	19.719	8.979	20.809
20m×20m		43.753	41.297	30.411	19.412	8.852	20.610
30m×30m		43.449	40.989	30.197	19.209	8.743	20.426
40m×40m		43.301	40.686	30.057	19.102	8.663	20.309
50m×50m		43.110	40.569	29.893	19.008	8.615	20.159
60m×60m		42.953	40.433	29.749	18.937	8.547	20.079
70m×70m		42.808	40.311	29.610	18.839	8.510	19.950
80m×80m		42.711	40.202	29.495	18.761	8.470	19.870
90m×90m		42.607	40.073	29.403	18.680	8.438	19.781
100m×100m		42.520	39.950	29.314	18.613	8.379	19.722
120m×120m		42.353	39.821	29.118	18.511	8.353	19.631
150m×150m		42.160	39.529	28.886	18.351	8.287	19.521

프랙탈 차원 산정

본 분석에서는 표 3~5의 격자 크기별(5×5m, 10×10m, 20×20m, 30×30, 40×40m, 50×50m, 60×60m, 70×70m, 80×80m, 90×90m, 100×100m, 120×120m, 150×150m)로 구한 지형인자들을 각각 대수로 치환하여 각 소유역별로 상관관계를 분석하였으며, 산정된 상관식과 상관계수는 표 4~6과 같다.

TABLE 4. Results of regression analysis-Basin area

Classification	Regression Formula	R ²
No.1	$Y = 47915031 * X_c^{-0.001947}$	0.978255
No.2	$Y = 310139487 * X_c^{-0.0038953}$	0.971537
Sub	No.3 $Y = 175584608 * X_c^{-0.0031013}$	0.981800
basin	No.4 $Y = 113825755 * X_c^{-0.0049846}$	0.935883
	No.5 $Y = 48851494.6 * X_c^{-0.0074038}$	0.936653
	No.6 $Y = 153303158 * X_c^{-0.0021965}$	0.926273

* Y; Area(log), X_c; Cell Size(log), X_s; Scale(log)

TABLE 5. Results of regression analysis -Centroidal flow path

Classification	Regression Formula	R ²
No.1	$Y = 21069.4222 * X_c^{-0.0074302}$	0.993462
No.2	$Y = 17966.8129 * X_c^{-0.0063351}$	0.987476
Sub	No.3 $Y = 19174.8046 * X_c^{-0.0072600}$	0.967843
basin	No.4 $Y = 9957.06441 * X_c^{-0.007858}$	0.987362
	No.5 $Y = 4091.9094 * X_c^{-0.0088228}$	0.997744
	No.6 $Y = 8368.49179 * X_c^{-0.0071922}$	0.942857

* Y; Centroidal flow path(log), X_c; Cell Size(log), X_s; Scale(log)

TABLE 6. Results of regression analysis-River length

Classification	Regression Formula	R ²
No.1	$Y = 45866.1077 * X_c^{-0.0163018}$	0.989965
No.2	$Y = 43839.221 * X_c^{-0.020458}$	0.996214
Sub	No.3 $Y = 32505.259 * X_c^{-0.0223096}$	0.980833
basin	No.4 $Y = 20839.2105 * X_c^{-0.0242279}$	0.986141
	No.5 $Y = 21991.9644 * X_c^{-0.0230367}$	0.974996
	No.6 $Y = 9587.17742 * X_c^{-0.0283017}$	0.984314

* Y; River length(log), X_c; Cell Size(log), X_s; Scale(log)

여기서 하천의 프랙탈 차원은 1-D(기울기)가 된다(Richardson, 1961). 이와 같이 구한 소유역별 지형인자에 대한 프랙탈 차원은 표 7과 같으며, 분석결과를 살펴보면 다음과 같다.

격자 크기에 따른 프랙탈 차원 산정결과 유역면적에 있어서 프랙탈 차원은 1.0018~1.0074로 나타났으며, 유로중심장은 1.0066~1.0092로, 유로연장은 1.0160~1.0299로 나타났다. 따라서 유역면적과 유로중심장에 있어서 프랙탈 차원은 그 차이가 거의 미소하며, 유로연장에 있어서는 상당히 크게 나타나는 것으로 분석되었다.

TABLE 7. Fractal dimension for subbasin

Classification	Subbasin					
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
Basin area	1.0162	1.0202	1.022	1.0238	1.0289	1.0220
Centroidal flow path	1.0163	1.0200	1.0223	1.0242	1.0283	1.0230
River length	1.0165	1.0196	1.0224	1.0245	1.0299	1.0228

마지막으로 앞에서 구한 각 소유역별 지형인자를 전유역에 대한 평균치를 구하여 다시 프랙탈 차원을 산정해본 결과 유로연장은 1.028, 유역면적은 1.0026, 유로중심장은 1.0061로 나타났다.

결 론

본 연구에서는 하천유역의 주요 지형인자들 중 유로연장을 GIS을 이용하여 보다 정확하고 객관적인 방법으로 추출하여 격자 크기와 상관관계를 분석하여 프랙탈 차원을 산정할 수 있었으며 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 상관관계를 분석한 결과 격자 크기에 따른 지형인자와의 관계는 격자 크기가 커짐에 따라 지형인자는 모두 작게 산정되었으며, 그 차이가 상당히 미소하게 나타났다고 유로연장에 있어서만 상당히 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.
- 2) 프랙탈 차원의 산정결과 유로연장은 1.028, 유역면적은 1.0026, 유로중심장은 1.0061로 나타났다.
- 3) 하천유역의 수문분석시 GIS를 이용하여 유로연장(하천연장)에 연관된 각종 지형 정보들을 추출하여 사용할 경우에는 분석에 이용된 격자 크기가 그 결과에 상당한 영향을 미치므로 고려를 하여야 될 것으로 판단된다.

향후 이러한 하천의 프랙탈 차원이 수문분석 결과에 미치는 효과에 대한 정성적 뿐만 아니라 정량적인 해석에 관한 연구가 많이 있어야 될 것으로 사료된다. **KAGIS**

참고문헌

- 건설부. 1983~1999. 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.
- 고영찬. 1996. 하천차수를 고려한 프랙탈 차원의 산정 및 적용. 서울대학교 박사학위논문.
- 성기원. 1994. 유역의 자기상사성을 이용한 수문지형학적 응답의 해석. 서울대학교 박사학위논문.
- 이처경. 1999. GIS 수치지도를 이용한 수리지질학적 변수와 지하수 유동의 분포. 한국지리정보학회지 2(2):45-58.
- 엄정섭, 김윤정. 2001. 공간데이터 통합 기능을 활용한 국가자연환경종합 GIS구축. 한국지리정보학회지 4(1):1-17.
- 전민우, 조원철. 1992. 지형도 축척에 따르는 하천 수로망과 분류 하천길이에 관한 fractal dimension. 대한토목학회지 12(4-1):97~106.
- ESRI 1991. Surface Modeling with TIN. Redland CA., ESRI Inc..
- Hjelmfelt, A. T. 1988. Fractals and the river length-catchment area ratio. Water Resources Bulletin 24:455~370.
- La Barbera, P. and R. Rosso. 1987. The fractal geometry of river networks. Eos. Trans. AGU 68(44):1276.
- Mandelbrot, B. B. 1982. The Fractal Geometry of Nature. New York : W. H. Freeman, p.111.
- Marani, A., R. Rigon and A. Rinaldo. 1991. A note on fractal channel networks. Water Resources Research Center 27(12):3041~3049.
- Mesa, O. J. and V. K. Gupta. 1987. On the channel length-area relationship for channel networks. Water Resources Research 23(11):2119~2122.
- Richardson, L. F. 1961. The problem of contiguity : An appendix of statistics of deadly quarrels. Gen. Syst. Yearb. 6:139~187.
- Rosso, R., B. Bacchi and P. La Barbera. 1991. Fractal relation of mainstream length to catchment area in river networks. Water Resources Research 27(3):381~387.
- Tarboton, D. G., R. L. Bras and I. Rodriguez-Iturbe. 1988. The fractal nature of river networks. Water Resources Research 24(8):1317~1322. **KAGIS**