JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS NOV. 2002, pp. 61-70

한국농공학회지
제44권 제6호

하천의 프랙탈 특성을 이용한 합성단위유량도의 개발

Development of Synthetic Unit Hydrograph using River Fractal Characteristics

차 상 화
Cha, Sang Hwa

Abstract

This study was performed to analyze the river fractal characteristics using GIS (Geographic Information System). In this study, topographical factors in river basin were grid-analyzed for each cell size and scale using GIS and regression formula was derived by analyzing correlation among topographical factors and cell size which were calculated here. And, a new rainfall-runoff model which is considering the calculated fractal dimension was developed to apply for a river basin.

Keywords : GIS, Fractal characteristics, Topographical factors, Rainfall-runoff

I. 서 론

하천유역에 있어서 홍수유출 현상을 해석하기 위해서는 유역내에서 발생하는 수문학적 기상요인과 지형특성인자들의 상호 관련성에 대한 정확한 규명이 필요하다. 그러나 기존의 홍수량 해석을 위한 수문학적 지형자료의 수집은 거의 지형도를 이용한 수작업으로 이루어져 왔으며, 이러한 자료추출과정은 많은 시간 및 인력의 소모로 인하여 다소 비합리적이고 부정확하다고 할 수 있다.

최근 들어 지리정보시스템(Geographic Information System; GIS)의 응용범위가 확대되면서 수자원 공학, 특히 하천수문분야에 있어서도 GIS를 이용하여 홍수유출량을 해석하려는 시도가 많아지고 있다. 물론, 이러한 GIS는 유출현상에 상당히 큰 영향을 미치는 지형학적 요인 즉, 하천길이, 하천경사, 유역면적, 등 다양한 수문정보를 획득하기 위한 수단으로 사용되어지고 또한, 기존의 단조롭고 시간이 많이 소요되던 자료추출 방법과는 달리 시간과 노력을 상당히 절약함은 물론 상대적으로 정확한 결과치를 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

강우-유출모형의 입력자료인 지형특성인자들을 정확하고 효율적으로 추출하기 위하여 GIS을 이용한 연구가 1970년 후반부터 많은 연구자들에 의해 연구되기 시작하였다. Silfer(1987)는 강우-유출

* 안동과학대학 건설정보과 겸임전임강사
* Corresponding author. Tel.: +82-54-851-3604
fax: +82-54-851-3601
E-mail address: tuwkdnjs@yumail.ac.kr

모델에 적용될 수 있는 PC용의 벡터 GIS를 개발하였으며, White(1988)는 펜실베니아 유역의 강우-유출량을 계산하는데 GIS를 이용한 바가 있으며, Stuebe 등(1990)은 SCS Runoff Curve Number 모델을 이용한 강우-유출모델의 형성에 수작업과 GIS를 이용한 작업결과를 비교한 바가 있으며, 이외에도 최근까지 GIS를 이용한 유출해석에 관한 많은 연구가 진행되어 오고 있다. 또한, 국내에서는 엄무섭(1991)이 지형정보시스템을 Kinematic 모형에 적용한 바가 있으며 함창학(1996)은 Arc/nfo의 GRID 모듈을 이용하여 격자형 DEM을 활용한 수문지상정보 추출에 관한 연구를 수행하였으며, 심명필 등(1998)은 강우-유출 모형에 GIS를 결합시켜 유출해석을 실시하였으며, 김민영(1999)은 GIS를 이용하여 유출모형의 최적매개변수를 구하여 이를 유출시뮬레이션에 적용한 바가 있다. 이와 같이 최근 들어 GIS를 이용한 하천의 수문학적 특성에 관한 연구가 매우 활발히 진행되어 오고 있다.

그러나 1970년대 후반들어 지형도 축척에 따라 측정되는 하천의 지형인자의 크기가 변한다는 fractal 이론이 Mandelbrot(1982)에 의하여 등장하면서 부터 기존의 강우-유출 모형중 하천의 지형인자를 입력매개변수로 이용되는 각종 유출모형은 재검토되어야 할 필요성이 제기되고 있다. 물론, 이러한 fractal 특성에 관한 연구로는, 국외의 경우 La Barbera(1987) 등이 하천 에서 처음으로 Horton의 법칙으로부터 fractal 차원을 유도하였고, Tarboton (1988)등은 DEM자료를 이용하여 하도망의 fractal 차원에 대해서 분석하여 하도망의 fractal 차원을 제시한 바가 있으며, 국내의 경우는 성기원(1994), 전민우 · 송재우(1999), 홍일표 · 고재웅(1999) 등이 축척을 변화시키면서 지형인자을 추출하여 하천의 fractal 특성을 규명하려는 시도를 하였으며 어느 정도의 연구성과도 있었다. 그러나 이러한 연구의 대부분이 지형인자의 측정에 있어서 사용되는 측정기기 즉, 구장기의 오차 및 사용자의 오차를 고려하지 않고 분석을 실시하였다.

본 연구에서는 하천유역에 있어서 정확한 홍수량을 산정하기 위하여 하천유역의 지형학적 특성과 같은 지형정보들을 보다 정확하고 객관적인 방법인 GIS을 이용하여 구하였으며 여기서 추출된 지형인자들의 특성 및 fractal 차원을 분석하여 이를 고려한 합성단위유량도 모형을 개발하였다.

Ⅱ. 이론적 배경

1. Fractal 특성

Fractal의 특성은 자기상사성으로 fractal 특성을 가지고 있는 사물은 그 위치나 규모가 변해도 원형이 가지고 있는 일반적인 기하학적인 특성이 계속 유지된다는 성질을 말한다. 즉, 이러한 fractal의 중요한 특징은 그들이 다양한 규모에 대해서 닮은 형태라는 것인데, 닮은 형태란 모든 규모에 대해서 fractal의 특징이 규정된다는 것을 의미한다.

Fractal 차원은 대상자료값의 위치에 대한 기하학적인 불규칙성을 규정하는 방법으로 유클리드 차원과는 다른 값을 보인다. 즉, 꺽인 직선의 경우 유클리드 기하학에서는 1차원으로 보나, fractal에서는 1차원과 2차원의 사이로 본다. 또한 여러번 꺽이고 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 fractal 차원의 측정에 있어서 가장 큰 기준이 되는 값이다. 이러한 허르스트 상수는 fractal 차원의 규명과 동시에 대상 자료의 fractal 특성을 나타내는 기본이 된다.

Mandelbrot는 스웨덴의 수학자 Holze Van Koch가 제안한 Koch 곡선을 예로 들어 fractal 특성에 관하여 설명하였다. Koch 곡선이란 Fig. 1과 같이 직선을 삼등분하여 가운데 부분을 밑변으로 하는 정삼각형을 만드는 것으로, 처음 직선이 단위길이라면 결과적으로 생기는 선의 길이는 4/3가 된

다. 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 fractal이라고 하였다.

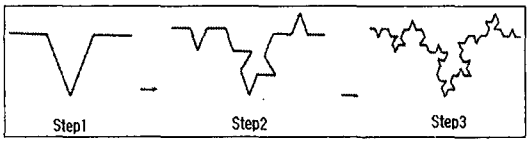

Fig. 1 Koch curve

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

기존의 하천에 대한 fractal 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 fractal 차원을 산정하는 방법이다.

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

$$L = NR \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서 L은 총길이, N은 측정자의 사용횟수, R은 해당 축척에 대한 측정자의 환산길이이다. 즉, 축척에 따라 변하는 형상을 정량화하기 위해 도입된 이론인 fractal 이론에 의하여 Koch의 삼각형에 대하여 비정수의 차원과 그에 해당하는 축척에 무관한 상수값을 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$F = NR^D = constant \quad \cdots\cdots (2)$$

여기서 F는 비정수차원의 fractal 길이, N은 분할갯수, R은 길이의 축척률에서의 측정자의 환산길이와 동일한 의미이며, D는 fractal 차원이다. 또한, 불규칙한 곡선 또는 직선길이를 측정할 경우에 측정횟수 N을 구하는 관계는 식 (3) 및 식 (4)와 같다.

$$N = LR^{-1} \quad \cdots\cdots (3)$$

$$N \sim R^{-D} \quad \cdots\cdots (4)$$

따라서 측정횟수 N의 비례식인 식 (3)과 식 (4)을 정리하면 식 (5)을 얻을 수 있다.

$$L = KR^{1-D} \quad \cdots\cdots (5)$$

이러한 하천길이와 같은 불규칙한 특성을 갖는 지형인자는 축척에 따라 다른 길이를 갖게 되므로 실제 하천길이의 fractal 차원을 구하려면 식 (5)을 log로 치환하여 식 (6)과 같이 변환시켜 사용하면 된다.

$$\log L = \log K + (1 - D)\log R \quad \cdots\cdots (6)$$

따라서, fractal 차원은 축척률과 하천길이의 대수자료를 가지고 회귀분석을 실시하여 그 회귀식의 기울기를 구한 다음 (1−기울기)로서 구할 수가 있으며, 이와 같은 방법을 Richardson(1961) 방법이라고 한다. 또한, 식 (5)에서 중축척과 소축척에 대한 관계식을 각각 구한후 이 관계식의 양변을 나누면 식 (7)을 구할 수 있다. 여기서, m, s는 각각 중축적과 소축척을 나타낸다.

$$L_s/L_m = (R_s/R_m)^{1-D} \quad \cdots\cdots (7)$$

2. 합성단위유량도 모형

일반적으로 합성단위유량도 모형은 유량기록이 전혀 없거나, 미진한 유역에 대해 수자원의 개발목적에 따라, 이에 필요한 그 유역의 단유량도를 도출하기 위한 것으로 다른 유역에서 얻은 과거의 경험을 토대로 단위유량도를 합성하여, 해당 미계측 지역에 근사치로 사용하는 방법이다.

Snyder는 미국의 Appalachian Highland 지역에서 면적 10~10,000 mi^2(30~ 30,000 km^2) 정도되는 유역을 대상으로, 단위유량도의 지체시간, 첨두유량 및 기저시간 등과 같은 단위유량도의 특성인자와 유역 지형인자와의 상관관계를 수립하였다. Snyder는 유역의 지체시간을 유역의 형상을 대표하는 인자로서 하천길이와 유역출구에서 유역중심에 가장 가까운 유로까지의 거리로 상관시켜 다음과 같은 식을 제시하였다.

$$t_p = C_t(L \cdot L_c)^m \quad (8)$$

여기서 t_p는 유역의 지체시간(h)이며, L은 하천의 총연장(km), Lc는 유역출구에서 유역중심에 가장 가까운 하도까지의 하천길이(km)이고 C_p, m은 상수이다. 그리고 단위면적당 첨두유량은 지체시간과의 관계로 다음과 같이 표시하였다.

$$q_p = C_p \frac{2.778}{t_p^a} \quad (9)$$

여기서 q_p는 단위면적당 첨두유량 ($m^3/s/km^2$), t_p는 지체시간(h)이며 C_p와 a는 유역특성에 관계되는 계수이다. Snyder는 단위유량도의 기저시간과 지체시간이 서로 비례관계가 있음을 다음과 같이 제시하였다.

$$T = 3 + 3(t_p/24) \quad (10)$$

여기서 T는 기저시간(day)이고, t_p는 지체시간(h)을 나타낸다. 이와 같이 Snyder 합성단위유량도 모형은 지형인자 및 원하는 유효단위강우 지속기간 t_r로부터 t_p, q_p, T를 구한 후 수문곡선을 개략적으로 작성하여 단위유량도를 얻게 된다. 그런데 이들 자료만을 가지고 단위유량도를 작성하는 것은 용이하지 않기 때문에 이를 보완하기 위하여 미육군공병단(U. S. Army Corps of Engineers)에서는 미국내의 여러 유역에 대한 광범위한 조사를 통하여 첨두유량의 50%와 75%에 해당하는 단위유량도의 시간폭(h)인 W_{50}, W_{75}를 정할 수 있는 경험공식을 다음과 같이 표시하였다.

$$W_{50} = 770 / q_p^{1.08} \quad (11)$$

$$W_{75} = 440 / q_p^{1.08} \quad (12)$$

여기서 W_{50} , W_{75} 는 첨두유량의 50%, 75%에 해당하는 단위유량도의 시간폭이며, q_p는 단위면적당 첨두유량(CFS)이며, 위식은 FPS 단위계를 사용했을 때이르모 SI 단위계로 환산시키면 다음식과 같다.

$$W_{50} = 2.57 / q_p^{1.08} \quad (13)$$

$$W_{75} = 1.48 / q_p^{1.08} \quad (14)$$

따라서 미육군공병단이 제안한 W_{50} , W_{75} 를 구하는 식을 이용하면 지형인자로부터 단위유량도상의 7개 점을 구할 수 있어 보다 용이하게 합성단위유량도를 작성할 수 있다.

Ⅲ. 자료의 구축 및 지형학적 특성 분석

1. 유역의 선정 및 자료의 구축

일반적으로 강우-유출모형의 기본자료로는 유역의 지형학적 특성자료와 기상학적 특성자료로 구분할 수 있으므로 연구대상 유역의 결정은 지형학적, 기상학적 자료가 충분한 곳을 선택하는 것이 바람

직하다.

본 연구에서는 비교적 정밀한 강우, 수위 및 유량 등의 수문관측이 실시되고 있는 국제수문개발계획(IHP) 대표시험유역으로 선정되어 관리되고 있는 위천유역 중 상류부의 동곡유역을 연구대상유역으로 선정하여 분석을 실시하였으며, 유역개황도는 Fig. 2와 같다. 물론, 본 분석유역은 1982년부터 수문관측이 실시되어 왔기 때문에 수문 기상학적 자료의 입수가 용이할 뿐 아니라 산지유역이기 때문에 산업화, 도시화 등에 따른 지형의 변동이 거의 없는 지역으로 판단되었다.

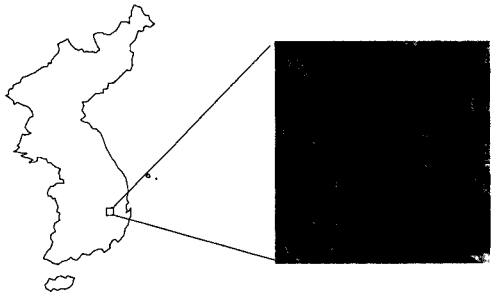

Fig. 2 Study basin

2. 하천의 지형특성인자 분석

보통 실제 지형도상의 하천으로 표기된 것을 실제 하천으로 보는 것이 GIS를 이용할 경우의 일반적 방법이지만 본 연구에서는 국립지리원에서 발행하는 1/50,000, 1/25,000, 1/5,000 수치지도를 입수하여 각 유역에 대하여 Grid 분석을 실시하였으며, 분석에는 ESRI(1991)사에서 제작된 GIS 소프트웨어 중 ArcInfo 8.02를 사용하였다.

Grid 분석시 각 소유역별 지형인자를 추출함에 있어서 셀 크기에 따른 변화특성를 알아보기 위해서 축척별(1/50,000, 1/25,000, 1/5,000)로 셀 크기를 13가지(5 m × 5 m, 10 m × 10 m, 20 m × 20 m, 30 m × 30 m, 40 m × 40 m, 50 m × 50 m, 60 m × 60 m, 70 m × 70 m, 80 m × 80 m, 90 m × 90 m, 100 m × 100 m, 120 m × 120 m, 150 m × 150 m) 경우로 나누어 각각에 있어서 지형인자 중 하천연장, 유역면적 및 유로중심장을 구하여 이를 비교 분석토록 하였다. 그 결과는 요약하면 Table 1과 같이 나타났다.

Table 1을 자세히 살펴보면, 각 셀 별에서 축척에 따른 지형인자들은 축척이 커지면서 조금씩 감소하고 있으나 그 차이가 거의 미소한 것으로 나타

Table 1 Results of topographical factors for each scale and cell size

Classification	Basin area (km^2)			Centroidal flow path (km)			River length (km)		
Cell size \ Scale	1/5,000	1/25,000	1/50,000	1/5,000	1/25,000	1/50,000	1/5,000	1/25,000	1/50,000
5m×5m	47.613	47.404	47.194	4.041	4.034	4.028	9.205	9.098	9.090
10m×10m	47.350	47.155	46.994	4.012	4.006	4.001	9.068	8.979	8.930
20m×20m	47.050	46.850	46.748	3.993	3.987	3.972	8.942	8.852	8.810
40m×40m	46.654	46.454	46.354	3.972	3.962	3.953	8.759	8.663	8.620
60m×60m	46.313	46.113	46.013	3.956	3.947	3.983	8.651	8.547	8.500
80m×80m	46.023	45.823	45.723	3.947	3.937	3.927	8.583	8.470	8.410
100m×100m	45.670	45.469	45.373	3.940	3.927	3.918	8.458	8.379	8.320
120m×120m	45.373	45.452	45.153	3.937	3.922	3.912	8.413	8.353	8.290
150m×150m	45.085	45.185	44.919	3.928	3.914	3.905	8.347	8.287	8.230

났고 또한 축척별에서 셀 크기에 따른 지형인자들의 변화량도 같은 결과를 나타냈다. 그러나 지형인자들 중 하천연장에 있어서는 동일 축척에 있어서 셀 크기가 커짐에 따라 그 감소량이 상당히 크게 나타났다. 따라서 GIS를 이용하여 구한 지형인자들을 홍수유출해석에 이용할 경우 특히 하천연장에 있어서는 셀 크기가 유출량에 상당한 영향을 미칠 것으로 분석되었다.

Table 2(a) Results of regression analysis (Basin area)

Classification		Regression equation	Correlation coeff.(R^2)
Scale	1/50,000	$A = 48680284.1 * X_c^{-0.0072996}$	0.909930
	1/25,000	$A = 48851494.6 * X_c^{-0.0074038}$	0.936653
	1/5,000	$A = 490513910 * X_c^{-0.0073742}$	0.938598
Cell Size	5mX5m	$A = 49128198.6 * X_s^{-0.0036394}$	0.948250
	10mX10m	$A = 48648345.3 * X_s^{-0.0031506}$	0.970469
	20mX20m	$A = 48174461.4 * X_s^{-0.0027678}$	0.998316
	40mX40m	$A = 47773297.3 * X_s^{-0.0027790}$	0.998589
	60mX60m	$A = 47430990.6 * X_s^{-0.0027959}$	0.998664
	80mX80m	$A = 47142597.6 * X_s^{-0.0028169}$	0.998722
	100mX100m	$A = 46781560.5 * X_s^{-0.0028197}$	0.999384
	120mX120m	$A = 46568153.4 * X_s^{-0.0028461}$	0.999343
	150mX150m	$A = 47051127.4 * X_s^{-0.0041709}$	0.906372

*A : Area (log), X_c : Cell Size (log), X_s : Scale (log)

Table 2(b) Results of regression analysis (Centroidal flow path)

Classification		Regression equation	Correlation coeff.(R^2)
Scale	1/50,000	$C = 4089.61339 * X_c^{-0.0092128}$	0.9995460
	1/25,000	$C = 4091.9094 * X_c^{-0.0088228}$	0.997744
	1/5,000	$C = 4091.53631 * X_c^{-0.0080688}$	0.993348
Cell Size	5mX5m	$C = 4087.88042 * X_s^{-0.0013426}$	0.967272
	10mX10m	$C = 4051.6829 * X_s^{-0.0011461}$	0.970101
	20mX20m	$C = 4032.68407 * X_s^{-0.0011516}$	0.970101
	40mX40m	$C = 4040.58784 * X_s^{-0.0019915}$	0.962018
	60mX60m	$C = 4020.58565 * X_s^{-0.001881}$	0.949573
	80mX80m	$C = 4018.84592 * X_s^{-0.0020953}$	0.949541
	100mX100m	$C = 4020.64076 * X_s^{-0.0023652}$	0.985186
	120mX120m	$C = 4028.97225 * X_s^{-0.002697}$	0.987565
	150mX150m	$C = 4012.66996 * X_s^{-0.002492}$	0.989679

*C : Centroidal flow path (log), X_c : Cell Size (log), X_s : Scale (log)

Table 2(c) Results of regression analysis (River length)

Classification		Regression equation	Correlation coeff.(R^2)
Scale	1/50,000	$R = 21910.9606 * X_c^{-0.0227996}$	0.971330
	1/25,000	$R = 21991.9644 * X_c^{-0.0230367}$	0.974996
	1/5,000	$R = 22084.6581 * X_c^{-0.0394815}$	0.987084
Cell Size	5mX5m	$R = 21995.3623 * X_s^{-0.0043016}$	0.992879
	10mX10m	$R = 21797.0235 * X_s^{-0.0045889}$	0.999816
	20mX20m	$R = 21503.2935 * X_s^{-0.0041335}$	0.989298
	40mX40m	$R = 21257.419 * X_s^{-0.0044896}$	0.999118
	60mX60m	$R = 21040.7975 * X_s^{-0.0046198}$	0.999998
	80mX80m	$R = 20827.723 * X_s^{-0.0046149}$	0.996931
	100mX100m	$R = 20992.3185 * X_s^{-0.0061758}$	0.987873
	120mX120m	$R = 21039.6783 * X_s^{-0.0067494}$	0.988871
	150mX150m	$R = 20496.8485 * X_s^{-0.0047508}$	0.988855

*R : River length (log), X_c : Cell Size (log), X_s : Scale (log)

Table 3 Fractal dimension for each cell size and scale

Classification	Cell size								
	5m × 5m	10m × 10m	20m × 20m	40m × 40m	60m × 60m	80m × 80m	100m × 100m	120m × 120m	150m × 150m
Basin area	1.0036	1.0032	1.0028	1.0028	1.0028	1.0028	1.0028	1.0028	1.0042
Centroidal flow path	1.0013	1.0011	1.0012	1.0020	1.0019	1.0021	1.0024	1.0027	1.0025
River length	1.0043	1.0046	1.0041	1.0045	1.0046	1.0046	1.0062	1.0067	1.0047
Classification	Scale								
	1/5,000			1/25,000			1,50,000		
Basin area	1.0073			1.0074			1.0074		
Centroidal flow path	1.0092			1.0088			1.0081		
River length	1.0228			1.0230			1.0399		

3. Fractal 특성 분석

본 분석에서는 Table 1의 셀 크기별로 구한 지형인자들을 각각 대수로 치환하여 회귀분석을 실시하여 회귀식과 상관계수를 산정하였으며 그 결과는 Table 2와 같다.

회귀분석에 의해서 결정된 회귀식과 상관계수에서 하천의 fractal 차원은 식 (6)에서와 같이 1-D (회귀식의 기울기)로 구할 수 있다(Richardson, 1961). 이와 같은 방법으로 구한 지형인자별 fractal 차원은 Table 3과 같다.

먼저, 동일한 셀 크기에서의 축척에 따른 fractal 차원 산정결과 유역면적은 1.0027~1.0042, 유로중심장은 1.0011~1.0029, 하천연장은 1.0041~1.0067로서 전체적으로 fractal 차원이 상당히 작게 나타났다. 즉, 동일한 셀 크기에서의 축척에 따

른 변화량이 적다는 것을 알 수 있었다.

다음으로 동일한 축척에서 셀 크기에 따른 fractal 차원 산정결과 유역면적은 1.0073~1.0074, 유로중심장은 1.0081~1.0092, 하천연장은 1.0228~1.0399로 나타나 유역면적과 유로중심장에 있어서 fractal 차원은 그 차이가 거의 미소하며 하천연장에 있어서는 상당히 크게 나타나는 것으로 분석되어 하천연장만 동일한 축척에서 셀 크기에 따른 변화량이 상당히 크다는 것을 알 수 있었다. 즉, 하천에서의 홍수유출해석시 지형인자 중 하천연장에 있어서는 반드시 셀 크기에 따른 프랙탈 차원을 고려하여 유출모형을 개발하여 실제 적용하여야 된다고 판단된다.

마지막으로 앞에서 구한 각 셀 크기에 따른 지형인자들의 평균치를 구하여 다시 프랙탈 차원을 산정해본 결과 유로면적은 1.0074, 유로중심장은 1.0087, 하천연장은 1.029로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 여기서 구한 fractal 차원 중 하천연장에 대한 1.029를 이용하여 새로운 강우-유출모형을 개발하여 실제 하천 유역에 적용하여 그 적합성을 검토하고자 한다.

4. 합성단위유량도 모형의 개발

일반적으로 유출모형은 기본 모형별로 정도의 차이는 있지만 자연의 강우-유출현상을 모의하는 것으로 해석하고자 하는 문제의 목적이 무엇이며, 어느 정도의 정확성이 요구되며 획득할 수 있는 자료의 수준 및 모형계산에 수반되는 경제적 비용이 어느 정도인가를 고려하여 이에 가장 적합한 강우-유출모형을 선택하여야 한다. 이러한 유출모형 중 합성단위유량도 모형은 앞에서 살펴보았듯이 몇가지의 가정을 전제로 하는 한계가 있지만 간편성에 비하여 상대적 정확성으로 인해 실무에서 수자원개발계획시 설계홍수량 추정 등에 널리 사용되어 지고있는 방법이다.

합성단위유량도 모형은 일반 지형도에서 쉽게 구할 수 있는 지형인자를 이용하여 단위유량도의 각 요소를 구하여 단위유량도를 작성한 후, 이를 이용하여 수문곡선을 구하는 방법으로 이 중의 하나인 Snyder형 합성단위유량도 모형은 유역면적, 하천연장, 유역중심에서 가장 가까운 하천지점에서 유역출구까지의 하천길이 즉 유로중심장이라는 세가지 지형자료를 가지고 해당 유역의 단위유량도를 작성하는 방법이다. 또한 본 모형은 우리 나라 수계에 대한 적용 연구도 어느 정도 있어 왔으며 실무에서도 많이 사용되고 있는 방법이다.

수문자료가 전무한 미계측 유역의 강우-유출현상을 규명하기 위한 방법으로 사용되는 합성단위유량도를 도출하기 위해서는 유출현상을 충분히 나타낼 수 있는 호우사상을 선정하여 대표단위유량도를 작성한 후, 이 대표단위유량도로부터 합성단위유량도의 유도에 필요한 특성변수들을 산정하여야 한다.

먼저, 본 분석유역인 동곡 수위표지점을 포함하고 있는 낙동강 수계내 13개(점촌, 봉화, 송리원, 월포, 산양, 이안, 계산, 예림교, 선산, 개진, 창리, 동촌, 용곡) 유역에 대표단위유량도로부터 합성단위유량도의 유도에 필요한 특성변수를 산정하면 다음의 Table 4와 같다.

다음으로, 분석대상이 되는 낙동강 유역의 13개 유역에 대해 스나이더 합성단위유량도법에 필요한 지형자료인 유역면적(A), 유로중심장(L_{ca}), 유로연장(L_{ma})을 1/25,000 수치지도를 이용하여 구하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다.

마지막으로, 앞에서 산정된 13개 유역에 대한 단위유량도의 특성변수와 지형특성에 의해서 합성단위유량도(SUH)를 회귀분석에 의해서 유도한 결과 다음과 같이 9가지 형태의 식으로 나타났다.

그러나 합성단위유량도의 유도에 이용되는 지형인자는 지형도의 축척과 수치지도를 이용하는 경우에는 셀 크기에 따라서 다르게 나타난다. 특히, 앞에서 합성단위유량도 모형에 사용되는 지형인자 중 하천연장이 셀 크기에 따라 상당히 크게 변화는 것으로 fractal 특성 분석에서 나타났으므로 본 연구

Table 4 Characteristic variable of Unit Hydrograph

Subbasin	t_p (h)	QS (m^3/s)	T (h)	W_{25} (h)	W_{50} (h)	W_{75} (h)	t_{25} (h)	t_{50} (h)	t_{75} (h)
Jeomchon	11.67	90.40	51.00	30.30	17.00	8.00	2.27	4.70	7.00
Bonghwa	8.38	132.50	126.00	22.30	13.00	6.10	3.30	5.05	6.00
Songriwon	9.75	73.20	49.00	30.03	18.30	8.30	1.70	3.40	5.50
Walpo	10.97	155.40	75.00	31.00	16.20	9.10	2.60	4.85	6.70
Sanyang	5.53	74.80	15.00	13.00	7.05	5.30	0.85	1.75	3.30
Ian	4.51	30.70	42.00	17.20	8.05	4.40	2.10	3.15	3.95
Gyesan	5.68	48.80	14.00	10.20	6.55	4.25	1.65	2.97	4.17
Yerimgyo	8.71	200.20	65.00	23.30	13.40	8.00	2.20	4.00	5.65
Sunsan	11.20	181.90	51.00	23.30	15.00	9.15	2.80	4.15	6.10
Gyejin	6.17	159.80	48.00	22.30	12.00	6.00	2.45	3.50	4.35
Changri	7.97	199.80	59.00	23.05	10.30	8.00	2.00	3.50	4.50
Dongchon	11.02	250.10	68.00	25.20	14.20	9.00	2.90	5.20	7.00
Yonggok	16.71	161.00	61.00	34.00	18.55	10.30	4.50	8.15	10.20

*data : Korea Institute of Construction Technology, 1989.6.

Table 5 Topographical data required for Synthetic Unit Hydrograph

(scale=1/25,000, cell size=25m×25m)

Factors / Subbasin	Basin area (km^2)	Centroidal flow path (km)	River length (km)
Jeomchon	614.72	42.86	56.20
Bonghwa	1143.58	31.30	100.34
Songriwon	475.84	24.02	42.65
Wolpo	1076.48	54.53	81.51
Sanyang	210.16	19.54	36.87
Ian	189.10	17.34	44.64
Gyesan	120.91	11.56	21.72
Yerimgyo	1358.33	29.80	82.21
Seonsan	985.63	28.11	70.65
Gyejin	745.41	22.83	60.29
Changri	928.02	34.99	64.57
Dongchon	1560.41	36.88	86.19
Yongkok	1315.70	68.38	99.15

Table 6 Chracteristics of Synthetic Unit Hydrograph

Factor	Formular	Units
Peak discharge	$Q_p = 1.6289\,A/t_p^{1.0255}$	m^3/s
Peak time	$t_p = 0.6960(L_{ma}L_{ca})^{0.3354}$	h
Rising	$t_{25} = 0.1838(L_{ma}L_{ca})^{0.3351}$	h
	$t_{50} = 0.3248(L_{ma}L_{ca})^{0.3337}$	h
	$t_{75} = 0.6828(L_{ma}L_{ca})^{0.2786}$	h
Web of unit hydrograph	$W_{25} = 4.1595/(Q_p/A)^{0.9097}$	h
	$W_{50} = 2.6040/(Q_p/A)^{0.9810}$	h
	$W_{75} = 1.8288/(Q_p/A)^{0.7927}$	h
Base time	$T = -0.57 + 7.81(t_p/24)$	day

Table 7 Chracteristics of GIS-SUH

Factor	Formular	Units
Peak discharge	$Q_p = 1.5137\,A/t_p^{0.1627}$	m^3/s
Peak time	$t_p = 0.5478(L_{ma}L_{ca})^{0.3463}$	h
Rising	$t_{25} = 0.9641(L_{ma}L_{ca})^{0.4067}$	h
	$t_{50} = 0.2791(L_{ma}L_{ca})^{1.1825}$	h
	$t_{75} = 1.0537(L_{ma}L_{ca})^{0.3024}$	h
Web of unit hydrograph	$W_{25} = 2.5941/(Q_p/A)^{0.8965}$	h
	$W_{50} = 3.0184/(Q_p/A)^{0.9761}$	h
	$W_{75} = 0.9358/(Q_p/A)^{0.8124}$	h
Base time	$T = -0.63 + 8.95(t_p/24)$	day

에서는 셀 크기에 따른 하천연장에 대한 fractal 차원 1.029와 식 (7)을 이용하여 지형인자를 재산정하고 회귀분석을 다시 실시하여 fractal 차원을 고려한 합성단위유량도 모형을 개발하였으며, 그 결과는 Table 7과 같다.

Ⅳ. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 GIS를 이용하여 하천유역에서의 fractal 특성을 분석하였으며 여기서 산정한 fractal 차원을 고려하여 실제 하천유역에 적용할 수 있는 합성단위유량도 모형을 개발하였으며, 연구결

과를 요약하면 다음과 같다.

1) GIS를 이용하여 유역의 지형인자(유역면적, 유로중심장, 하천연장)들을 축척별 및 셀 크기별로 grid 분석을 실시하여 여기서 산정된 지형인자들과 축척 및 셀 크기와의 회귀분석을 실시하여 각각에 대한 회귀식을 유도하였다.

2) 1)에서 산정된 결과를 이용하여 하천의 fractal 특성을 분석해 본 결과, 축척률의 변화에 따른 지형인자들의 변화량은 거의 미소하였으며 또한, 셀 크기에 대한 지형인자의 변화량도 미소한 것으로 나타났다. 단, 지형인자 중 하천연장만 셀 크기가 증가함에 따라 그 길이가 증가되는 것으로 나타났다.

3) 1)에서 구한 셀 크기별 지형인자를 이용하여 분석유역에 대한 지형인자별 fractal 차원을 산정한 결과는 하천연장이 1.029, 유역면적이 1.0074, 유로중심장이 1.0087로 나타났으며, 또한 여기서 산정된 fractal 차원을 고려하여 하천유역의 홍수유출 해석시 사용되는 합성단위유량도 모형을 개발하였다.

향후, 본 연구에서 개발된 프랙탈 차원을 고려한 합성단위유량도 모형을 실무에서 사용가능하도록 실제 하천유역에 적용하여 그 적합성을 검토하고 또한 보완하여야 할 것으로 사료된다.

References

1. Kim, M. Y. 1999. A study on runoff simulation using GIS. M. S. Thesis. Keungbuk Pro.: Yeungnam University. (in Korean)
2. Seong, K. W. 1994. Hydrogeomorphologocal response analysis based on the self - similarity of the basin. Ph. D. Thesis. Seoul Prov.: Seoul University. (in Korean)
3. Yeom, M. S. 1991. GIS aided kinematic model construction and its application. M. S. Thesis. Seoul Prov.: Seoul University. (in Korean)
4. Hahm, C. H. 1996. A fundamental study on an extraction of the hydro-geometric information by using geographic information system. Ph. D. Thesis. Chungbuk Prov.: Chungbuk University. (in Korean)
5. Jeon, M. W. and Song, J. W. 1999. Fractal Dimension of Stream Networks and Mainstream Length. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 19(2-3):285~295. (in Korean)
6. Hong, I. P. and Ko, J. U.. 1999. Development of a giuh model based on River Fractal Characteristics, *Journal of Korea Water Resources Association*, 32(5):565~577. (in Korean)
7. ESRI. 1991. *Surface Modeling with* TIN. Redland CA., ESRI Inc..
8. Hodge, W. H., Larson, M. and Goran, W. 1988. Linking the ARMSED Watershed Proceedings of the International Symposium on Modeling and Agricultural, Forest, and Rangeland Hydrology, Chicago, *American Society of Agricultural Engineers*, Michigan.
9. La Barbera, P. and R. Rosso. 1987. *The Fractal Geometry of River Networks*, Eos. Trans. AGU 68(44):1276.
10. Mandelbrot, B. B. 1983. *The Fractal Geometry of Nature*, New York: W. H. Freeman, P. 111.
11. Richardson, L. F. 1961. The Problem of Contiguity : *An Appendix of Statistics of Deadly Quarrels*, Gen. Syst. Yearb., 6:139~187.
12. Silfer, A. T., Kinn, G. J. and Hassett, J. M. 1987. A Geographic Information System Utilizing the Traingulated Network as a Basis for Hydrologic Modeling, *Proceedings of the International Symposium Computer Assisted Cartog.*, Am. Soc. Photogram.
13. Stube, M. M. and Johnston, D. M. 1990. Runoff Volume Estimation Using GIS Techniques, *Water Resources Bulletin*, 26-4.
14. Tarboton, D. G., R. L. Bras, and I. Rodriguez-Itrube. 1988. The Fractal Nature of River Networks, *Water Resources Research*, 24 (8):1317~1322.