

한국 산악지역 Fractal 특성 분석과 수정 GCUH 개발 연구

River Fractal Analysis and Modified GCUH Development for Korean Mountain Regions

신현석*, 손태석**, 김홍태***
Hyun Suk Shin, Tae Seok Shon, Hong Tae Kim

요 지

본 연구는 GIUH(Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph) 매개변수와 유역의 지형특성인자인 유역면적, 유로연장, 유로경사의 상관성을 분석하여 유역면적과 유로연장의 GIUH 매개변수와의 상관식을 유도하였다. 그리고 대상유역의 Fractal분석도 실시하여 지형상사를 확인하였다. 상관식의 검증을 위해 선택한 유역을 선정하여 결과를 실측치를 계산치와 수정치로 비교하고 계산치와 수정치도 비교하였다. 본 연구의 결과로 산정된 상관식을 사용하여 임의의 미계측 유역의 GIUH매개변수를 산정할 경우 기존의 복잡하고 시간이 많이 소요되는 GIS작업의 번거로움을 최소화할 수 있을 것이다.

핵심용어: GIUH, Fractal, 지형상사, GIS

1. 서론

기존의 유출분석을 위한 이론이나 기법이 시스템의 성능이나 자료구축의 난제로 인해 소유역 위주나 개략적인 분석만 가능했지만 최근 GIS(Geographic Information System)기법의 발달로 수문분석을 위한 지형 자료의 구축이나 분석이 한결 편리하고 신속하게 됨으로써 수문학 분야에서는 정밀한 지형 자료의 분석을 통하여 순수하게 이를 이용하여 유출 특성을 분석하는 수문지형학(Hydrogeomorphology) 분야의 발전이 상당히 진전되었다. 기존의 GIS기법으로 GIUH매개변수를 산정함에 있어 예전의 수작업으로 산정에 비하면 훨씬 속도면이나 정확도 면에서 향상되었지만 GIUH 매개변수 산정을 위한 복잡한 절차를 거쳐야 한다. 본 연구는 미계측 소유역의 유출량 산정에 적합하다고 알려진 GIUH(Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph)식을 국내의 미계측 산악 지역에 적용함에 있어 GIUH 매개변수 산정시 GIS 작업을 통한 번거로움을 최소화하고자 하는데 있다.

2. 하천 Fractal 분석

2.1 단일 하천 fractal 분석

표 2.1의 d1, d3, d4식을 단일 하천 Fractal 분석을 실시하였다. 단일하천 Fractal 중 d3에서 0.759~1.4의 범위에서 표준편차는 0.177로 평균 1.101근처에 밀집되어 있는 것을 알 수 있다. 이것은 Feder(1988)의 연구

* : 정회원·부산대학교 토목공학과 부교수(E-mail: hsshin@pusan.ac.kr)

** : 정회원·부산대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: tsshon1@hanmail.net)

*** : 정회원·부산대학교 토목공학과 박사과정(E-mail: htKim8@hanmail.net)

에서 단일 하천 프랙탈의 평균값 1.16과 비슷한 결과이고 여러 연구에서 제안된 1.14와 거의 같은 값이다. d4는 1.711 ~ 1.858의 분포와 표준편차 0.036으로 평균값 1.798를 갖는다. 이것은 Rosso et al.(1991)의 평균값 1.04와 차이를 보이고 1.14와도 다소 차이를 보인다. 결론적으로 d4의 결과는 신뢰하기 힘들고 d3로 대상유역의 단일 하천의 상사성이 존재함을 보여준다. 그림 2.1은 대상유역의 하천 Fractal을 도시한 것이다.

2.2 하천망 fractal 분석

표 2.2의 D1 ~ D6식을 이용하였다. D5(d3)는 D5의 식에서 d값을 단일 하천 Fractal d3를 대입하여 계산하였다. D5(d4)는 d4를, D5(1.14)는 1.14를, D6(d3)는 d3를, D6(1.14)는 1.14를 대입하여 계산하였다. 여기서 1.14는 여러 논문에서 제안된 단일 하천 fractal이다.

하천망 Fractal 분석을 실시하였다. 평균이 D3는 1.867, D4은 1.798, D5(d4)는 3.358, D5(1.14)는 2.129, D6(d3)는 2.089, D6(1.14) 2.171이다. 이 평균값들은 D.J Schuller et al.(2001)의 연구에서 D3은 1.73, D4는 1.76, D5(1.14)는 1.94, D6(1.14)는 1.96으로 거의 비슷한 결과를 보여준다. D5(d4)는 대상유역에서는 3.358이고 D.J Schuller et al.(2001)의 연구에서는 1.8로 많은 차이가 났다. 이것은 단일 하천 fractal에서 신뢰하기 힘든 d4가 계산에 대입되면서 D5(d4) 역시 신뢰하기 힘든 결과가 나온 것이다. 결과적으로 우리나라 산악지형의 하천망에도 상사성이 존재함을 보여준다. 그림 2.1은 대상유역의 하천망 Fractal을 도시한 것이다.

표 2.1 단일 하천 프랙탈 차수 계산식

Estimate	Authors	Equation	Equation no.
d1	Mandelbrot(1983)	$L \propto A^{d/2}$	2.51
d2	Takayasu(1990)	$L \propto A^{1/2}$	2.50
d3	Feder(1988)	$d = 2 \frac{\ln R_L}{\ln R_B}$	2.55
d4	Rosso et al.(1991)	$d = \max(1, 2 \frac{\log R_B}{\log R_A})$	2.59

표 2.2 하천망 프랙탈 차수 계산식

Estimate	Authors	Equation	Equation no.
D1	Mandelbrot(1983)	$Z \propto A^{D/2}$	2.53
D2	Nikora et al.(1993)	$Z \propto A^{D_d/2}$	2.72
D3	La Barbera and Rosso (1987,1989)	$D = \max(\frac{\log R_B}{\log R_L}, 1)$	2.56
D4	Rosso et al.(1991)	$D = \min(2, 2 \frac{\log R_B}{\log R_A})$	2.60
D5	Tarboton et al.(1990)	$D = \max(d \frac{\log R_B}{\log R_L})$	2.57
D6	La Barbera and Rosso(1990)	$D = (\frac{1}{2-d}) \frac{\log R_B}{\log R_L}$	2.58

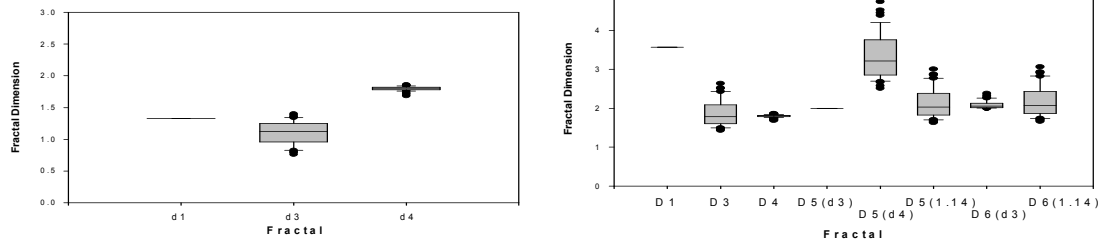


그림 2.1 하천 프랙탈 결과

3. 수정 GCUH 개발

Horton 변수 상관 분석과 b_Q 상관 분석에 있어 Forward Selection Procedure(forsel)을 이용하였다. Forward Selection Procedure(forsel)에서 독립 변수는 회귀식이 만족할 때까지 즉, 의존변수 Y 의 예측에서 회귀식이 명확하지 않을 때까지 모델에 포함된다. 회귀식 모델에서, 범칙은 의존변수의 가장 좋은 하나의 예측변수를 우선 포함한다. 다음에 가장 좋은 하나의 예측변수의 조합에서 보이는 두 개의 가장 좋은 예측변수를 포함한다. 다음에 가장 좋은 두 개의 예측변수의 조합에서 보이는 3개의 가장 좋은 예측변수를 포함한다. 이 과정은 회귀식에서 고려할 더 이상의 변수가 없을 때까지 이런 방식으로 계속된다. 어떤 변수 또는 변수들이 다른 변수 또는 다른 변수들 보다 나오지 결정하는데 사용되는 기준은 다중상관계수(multifull correlation coefficient)이다.

우선 Horton 변수 상관분석에서 R_L 이 유역면적 50 km^2 를 기준으로 분리되는 양상을 보였다. 그래서 상관분석 시에도 이를 고려하여 분석하였다.

표 3.1에서 선정된 R_L 회귀식을 보였다.

표 3.1 선정된 R_L 회귀식

유역면적	지형인자	회귀식	상관도
50 km^2 미만일 때	$R_L = f(L)$	$R_L = 0.668L^{0.538}$	0.8697
50 km^2 이상일 때	$R_L = f(A)$	$R_L = 0.495A^{0.322}$	0.8661

표 3.2에서는 b_Q 의 자체유도 회귀식을 보였다.

표 3.2 하천 최고 차수 평균 하폭(b_Q)

구분	출처	유도식	비고
1	자체유도 회귀식($r=0.98$)	$b_Q = 1.9079 \times A^{0.750}$	A: km^2 , b_Q : m

R_L 회귀식과 b_Q 회귀식을 기존 GCUH에 대입하여 수정 GCUH를 정리하면,

유역면적이 50 km^2 미만일 때,

$$Q_P = 1.734 \frac{i_r^{1.4} A_Q^{0.575} S_Q^{0.2} t_r}{nL_Q^{0.785}} \left(1 - 0.121 \frac{i_r^{0.4} A_Q^{0.07} S_Q^{0.2} t_r}{nL_Q^{0.785}} \right) \quad (3.1)$$

$$T_P = 1.04 \frac{nL_Q^{1.309}}{i_r^{0.4} A_Q^{0.07} S_Q^{0.5}} + 0.75 t_r \quad (3.2)$$

유역면적이 50 km^2 이상일 때,

$$Q_P = 1.538 \frac{i_r^{1.4} A_\Omega^{0.575} S_\Omega^{0.2} t_r}{n L_\Omega^{0.872}} \left(1 - 0.121 \frac{i_r^{0.4} A_\Omega^{0.07} S_\Omega^{0.2} t_r}{n L_\Omega^{0.871}} \right) \quad (3.3)$$

$$T_P = 0.921 \frac{n L_\Omega^{0.871}}{i_r^{0.4} A_\Omega^{0.07} S_\Omega^{0.5}} + 0.75 t_r \quad (3.4)$$

4. 수정 GCUH 설마천 유역 적용

설마천은 임진강 하구에서 약 46km 상류인 경기도 파주시 적성면에 위치하고 있는 임진강의 제 1지류로서, 유역면적 18.5km², 유로연장 11.3km인 수지상 형태를 가지고 있는 하천이다. 이 중에서 본 연구의 시험유역은 설마천 유역의 중류부에 위치한 영국군 전적비교를 출구점으로 하는 상류 유역이다. 표 4.1~4.3은 각각 설마천 유역의 지형자료와 GIUH매개변수, 사용된 호우사상을 보였다. 이상 자료를 사용하여 설마천 유역의 유량계산을 하였다. 표 4.4~4.6은 각각 설마천 유역의 유량의 실측치와 계산치, 실측치와 수정치, 계산치와 수정치의 검정오차를 보였다. 실측치와 계산치, 수정치는 다소 차이를 보이거나 계산치와 수정치는 거의 일치함을 보인다.

표 4.1 설마천 유역 지형자료

구분	유역구분	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	평균경사 (m/m)	Lc (km)	고도차 (m)	CN		비고
							AMC-II	AMC-III	
1	사방댐	6.4	4.5	0.053	1.724	225	69	84	92

표 4.2 설마천 유역 GIUH매개변수표

구분	유역구분	R _B	R _L	R _A	L _Ω (km)	S _Ω (m/m)		A _Ω (km ²)	n	B _Ω (m)
						GIS	고도차			
1	사방댐	4.242	1.509	5.443	2.408	0.119	0.02	6.4	0.08	7.5
		6	9	4	5					

표 4.3 설마천 유역 호우사상

구분	호우기간	호우원인	호우형태	지속일수
e1	01/03/29 ~ 07/03	저기압	-	14일간
e2	01/07/14 ~ 07/19	저기압	단기 단일극대 호우	18일간
e3	02/08/05 ~ 08/09	저기압	장기 복합 호우	15일간
e4	03/07/21 ~ 07/27	저기압	-	17일간
e5	03/08/06 ~ 08/08	저기압	단기 이중극대 호우	18일간
e6	03/09/18 ~ 09/19	저기압	-	10일간

표 4.4 실측치와 계산치 검정오차 분석

호우사상	RPE	RVE	AMB	RMSE	CC
e1	34.12	56.62	2.04	2.35	0.41
e2	58.24	1.85	2.22	3.03	0.73
e3	43.59	54.29	11.75	15.15	0.52
e4	50.12	75.22	3.28	3.91	0.31
e5	11.29	37.42	3.4	4.44	0.73
e6	69.1	70.34	4.92	7.48	0.54
평균	44.41	49.29	4.60	6.06	0.54
표준편차	20.18	26.78	3.65	4.79	0.17

표 4.5 실측치와 수정치 검정오차 분석

호우사상	RPE	RVE	AMB	RMSE	CC
e1	40.2	58.45	2.04	2.37	0.42
e2	42.31	5.01	2	2.69	0.78
e3	48.87	56.61	11.79	15.22	0.55
e4	53.49	76.04	3.27	3.91	0.36
e5	18.25	40.22	3.27	4.37	0.76
e6	69.1	70.34	4.92	7.48	0.54
평균	45.37	51.11	4.55	6.01	0.57
표준편차	16.81	25.77	3.70	4.87	0.17

표 4.6 계산치와 수정치 검정오차 분석

호우사상	RPE	RVE	AMB	RMSE	CC
e1	9.23	4.22	0.1	0.19	0.99
e2	10.07	6.73	0.34	0.62	0.99
e3	9.36	5.08	0.5	0.93	0.99
e4	6.75	3.32	0.08	0.12	0.99
e5	7.85	4.47	0.25	0.49	0.99
e6	10.21	4.45	0.12	0.22	0.99
평균	8.91	4.71	0.23	0.43	0.99
표준편차	1.35	1.14	0.17	0.31	0.00

4. 결론

본 연구에서 GIUH 매개변수와 유역특성인자인 유역면적, 유로연장, 유역경사의 상관관계를 찾으려고 시도했다. 그리고 각 유역의 하천 Fractal과 하천망 Fractal을 분석하여 한국 산악지형 하천의 지형상사를 찾으려고 했다. 그리고 각 상관식의 타당성을 설마친 유역의 GCUH 단위도 산정으로 검증하였다.

차후의 연구에 위 산정된 상관식의 일반적 사용을 위해 GIUH 매개변수와 유역특성자료들의 민감도와 불확실성 분석이 필요한 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- Rodriguez-Iturbe, I. and J. B. Valdes. (1979). "The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response." *Water Resources Research*, Vol. 15, No. 6, pp. 1409-1420.
- Rodriguez-Iturbe, I., M. G. Sanabria, and R. L. Bras. (1982). "A Geomorphoclimatic Theory of the Instantaneous Unit Hydrograph." *Water Resources Research*, Vol. 18, No. 4, pp. 877-903.
- Strahler, A.N. (1957). "Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology." *Trans. Am. Geophys. Union*. 38(6), pp. 913-920.
- Giorgio Roth, Paolo La Barbera, Michele Greco, 1996. On the description of the basin effective drainage structure. *Journal of Hydrology* 187, 119-135
- Maciej Radziejewski, Zbigniew W. Kundewicz, 1997. Fractal analysis of flow of the river Water. *Journal of Hydrology* 200, 280-294
- D.J. Schuller, A.R. Rao, G.D. Jeong, 2001. Fractal characteristics of dense stream networks. *Journal of Hydrology* 243, 1-16.

- David G. Tarboton, Rafael L. Bras, Ignacio Rodriguez-Iturbe, 1988. The fractal nature of river networks. *Water Resources Research* 24(8), 1317-1322.
- David G. Tarboton, Rafael L. Bras, Ignacio Rodriguez-Iturbe, 1989. Scaling and elevation in river networks. *Water Resources Research* 25(9), 2037-2051.
- Vijay K. Gupta, Oscar J. Mesa, David R. Dawdy, 1994. Multiscaling theory of flood peaks: Regional quantile analysis. *Water Resources Research* 30(12), 3405-3421.
- Vijay K. Gupta, David R. Dawdy, 1995. Physical interpresentations of regional variations in the scaling exponents of flood quantiles. *Hydrological Process* 9, 347-361.