

Arc-View를 이용한 하천 유역의 지형형태학적 순간단위도(GIUH)의 검정

장대원¹⁾ / 김병식²⁾ / 김형수³⁾ / 서병하⁴⁾

1. 서론

하천 유출현상은 지형인자와 기후인자의 영향을 주로 받으므로 강우와 유출량의 상호관계를 수립하는 것은 하천의 수공구조물 설계와 수문해석에 대단히 중요하다. 프랙탈은 자기상사성(self similarity)을 가지고 있는 하천의 지형학적인 특성을 나타낼 수 있다. 일반적으로 유역의 자기상사성을 이용하기 위해서는 여러 축척의 지형도를 이용하여 유역의 특성을 나타내는 지표(주하천유로연장, 링크길이총합, 하천차수별 개수 등)를 구하지만 본 논문에서는 유역의 프랙탈 특성을 분석, 검토하고 프랙탈 GIUH모형에 필요한 유로연장과 유역면적 등을 Arc-View를 이용, 격자의 크기와 최소 소유역면적(Critical Source Area, CSA)의 크기를 변경하여 구하였고, 이를 기존의 수작업의 결과와 비교하였다. Horton의 차수비를 이용하여 지형학적인 특성을 반영했으며 GIUH 모형을 구성하였다. 모형은 삼각순간단위도(Triangular IUH)를 이용하여 GIUH모형에 적용시켜 대상유역의 유출유량을 산정하였다.

평창강의 이목정 유역에 이를 적용한 결과, GIS를 이용하여 Horton의 차수비를 구한 결과와 기존 문헌의 차수비와 유사하였으며 경험적인 값의 범위에 분포하였다. 각 차수에 따른 결정계수 값은 $R_A=0.79, R_B=0.97, R_L=0.86$ 으로 Arc-view를 이용한 하천의 지형학적 특성인자의 적용이 적합함을 알 수 있었다.

2. 적용 이론

2.1 프랙탈 차원

프랙탈 특성을 가지는 사물은 그 위치나 규모가 변해도 가지고 있는 기하학적 특성이 계속 유지된다. 바꾸어 말하면 특성을 나타내는 확률분포가 규모에 따라서 변화가 없다. Mandelbrot(1983)는 하천의 길이가 프랙탈이라고 제안하고 유로연장과 유역면적의 관계를 이용하여 프랙탈 차원을 구하는 방법을 다음과 같이 제안하였다.

$$L = kA^{\frac{d}{2}}$$

(L : 유로연장, A : 유역면적, k : 상수, d : 하천길이의 프랙탈 차원)

2.2 Horton의 차수법칙

자연 하천 유역의 구성과 하도망의 형태에 대한 정량적인 연구는 Horton(1945)에 의해 시작되었다. Horton(1945)은 한 유역내의 차수가 동일한 하천의 개수를 다음과 같이 표현하였다.

$$N_{\omega} = R_B^{\omega - \Omega}$$

여기서, ω 는 하천의 차수, N_{ω} 는 ω 차 하천의 개수이며, Ω 는 유역의 차수이다. R_B 는 하천 분기비로서, 각 하천 차수에 대한 개수에 대수를 취한 기율기로부터 얻을 수 있다.

-
- 1) 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 석사과정(e-mail: badajdw@mail.co.kr)
 - 2) 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 박사과정(e-mail: hydrokbs@orgio.net)
 - 3) 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 교수(e-mail: sookim@inha.ac.kr)
 - 4) 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 교수(e-mail: seohydro@inha.ac.kr)

하천 길이와 유역에 관한 법칙도 하천 개수의 법칙과 마찬가지로, 면적비(R_A)와 길이비(R_L)를 이용해서 나타낼 수 있으며 이를 정리하면 다음과 같다.

$$\text{분기비} : R_B = \frac{N_{\omega-1}}{N_{\omega}}, \quad \text{길이비} : R_L = \frac{L_{\omega-1}}{L_{\omega}}, \quad \text{면적비} : R_A = \frac{A_{\omega-1}}{A_{\omega}}$$

일반적으로 자연 하천에서 R_B 는 3.0~5.0, R_L 은 1.5~3.5, R_A 는 3.0~6.0의 값을 갖는다(Smart, 1972).

2.3 Horton's ratio를 이용한 GIUH 특성

Rodriguez-Itrube와 Valdes(1979)는 처음으로 GIUH이론을 소개하였고 그후 Gupta(1980)가 이를 일반화하여 발표하였다. GIUH이론은 유역의 IUH를 얻기위해 무한개의 물입자로 이루어진 단위부피에서 한 물입자가 출구까지 가는 이동경로를 살펴보는 것이다.

표1. Horton-Strahler의 하천차수 부여방법 및 물방울의 이동경로

Path Name	Process	
	Path	Process
s_1	$a_1 \rightarrow r_1 \rightarrow r_2 \rightarrow r_3 \rightarrow outlet$	
s_2	$a_2 \rightarrow r_1 \rightarrow r_3 \rightarrow outlet$	
s_3	$a_1 \rightarrow r_2 \rightarrow r_3 \rightarrow outlet$	
s_4	$a_3 \rightarrow r_3 \rightarrow outlet$	

예를 들어 위와 같은 3차 유역이 있다고 한다면 물이 출구까지 도달하는 경로의 집합은 표1. 같이 나타낼 수 있다. Gupta(1980)는 물입자가 유역출구까지 도달하는데 필요한 시간의 분포에 대한 누가밀도함수를 다음과 같다고 하였다.

$$P(T_B \leq t) = \sum_{s \in S} P(T_B \leq t) P(s)$$

($P()$) : 확률, s : 하나의 특정경로 S : 특정경로의 모집단, T_B : 출구까지 도달시간)

특정경로 $a_i \rightarrow r_i \rightarrow r_j \rightarrow \dots \rightarrow r_w$ 에 대하여 소요시간 T_S 는 각 지체시간을 합하면 얻을 수 있다.

$$T_S = T_{a_i} + T_{r_i} + T_{r_j} + \dots + T_{r_w}$$

각 상태에서의 이동시간이라는 확률변수가 서로 독립이라는 가정을 이용하면 위 식으로부터 유역의 IUH인 $f_T(t)$ 를 얻을 수 있다.

$$f_T(t) = \sum_{s \in S} f_{T_{a_i}}(t) * f_{T_{r_i}}(t) * \dots * f_{T_{r_w}}(t) P(S)$$

$f_{T_r}(t)$: 상태 r_1 에서의 이동시간의 확률밀도함수

* : 회선적분 연산자

$P(S)$: 경로선택확률

3. 적용

3.1 대상유역 및 기본자료

본 연구의 대상유역은 평창강 이목정 유역으로 유역면적은 55.7km²이며 비교적 경사가 가파르다. 자료는 GIS Tool인 Arcview를 사용하여 이목정 소유역을 1/25,000 수치지도를 가지고 추출하였다. 자료는 격자크기에 따른 DEM자료를 추출한 후 여러 기법 등을 통해 하천의 형상을 시각화 한 것이다. 본 연구에서는 다양한 격자의 크기를 모형에 반영하고자 10m, 30m, 50m의 크기로 나누어 DEM 자료를 구축하였다. 수치지

도의 축척이 정해진 관계로 축척에 따른 길이의 변화를 비교할 수 없어서 구역에서의 하천을 생성할 수 있는 가장 작은 구역면적의 크기를 0.1km², 0.2km², 0.5km² 로 변화시켜가면서 실제 지도상의 하천과 가장 유사한 하천의 형상을 추출해 내었다. 격자의 크기를 10m로 했을 경우에는 Arc-view 프로그램이 생성할 수 있는 최대 하천수를 넘어서 30m와 50m 자료를 가지고 적용하였으며 각 계산된 결과치는 표.2~표.5와 같고 차수비는 그림.1~그림.4에 나타내었다.

표 2. cell size(50m), CSA(0.5km²)

차수	no.	length (km)	area (km ²)	mean length	mean Area
1	32	26.54	34.84	0.83	1.09
2	8	9.74	8.90	1.22	1.11
3	1	12.65	10.84	12.65	10.84
total	41	48.93	54.58		

표 4. cell size(50m), CSA(0.2km²)

차수	no.	length (km)	area (km ²)	mean length	mean Area
1	73	42.87	32.23	0.59	0.44
2	29	18.34	11.86	0.63	0.41
3	3	7.88	4.86	2.63	1.62
4	1	9.83	5.63	9.83	5.63
total	106	78.93	54.58		

표 3. cell size(30m), CSA(0.5km²)

차수	no.	length (km)	area (km ²)	mean length	mean Area
1	28	26.34	33.77	0.94	1.21
2	9	10.03	8.66	1.11	0.96
3	1	12.53	12.10	12.53	12.10
total	38	48.89	54.52		

표 5. cell size(30m), CSA(0.2km²)

차수	no.	length (km)	area (km ²)	mean length	mean Area
1	78	40.87	32.10	0.52	0.41
2	29	18.07	10.49	0.62	0.36
3	5	9.22	5.13	1.84	1.03
4	1	10.76	5.71	10.76	5.71
total	113	78.92	53.44		

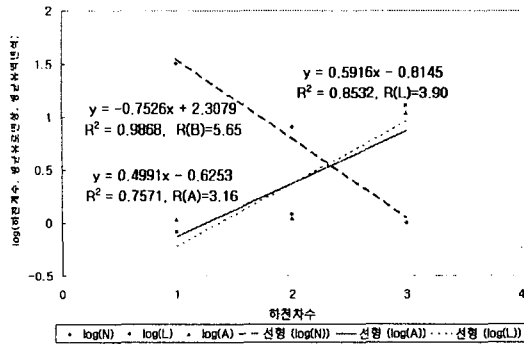


그림 1. cell size(50m), CSA(0.5km²)

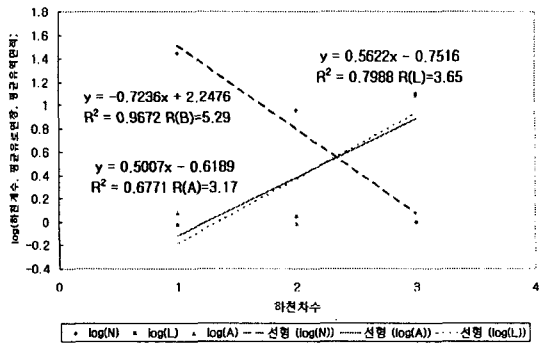


그림 2. cell size(30m), CSA(0.5km²)

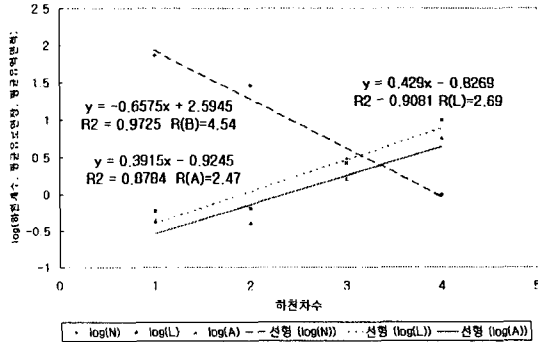


그림 3. cell size(50m), CSA(0.2km²)

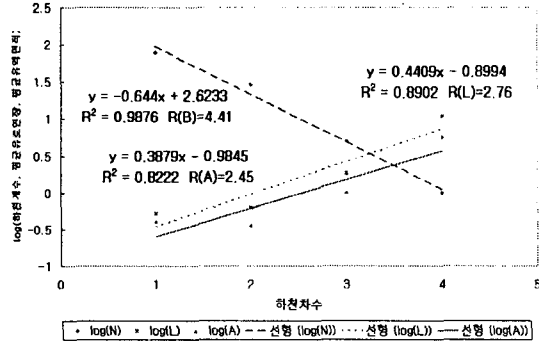


그림 4. cell size(30m), CSA(0.2km²)

3.2 기존 연구결과와 비교 및 검토

Arc-View를 이용하여 이목정 유역에 Horton's ratio를 구한 결과는 표 6과 같다. 각 차수에 대한 결정계수 값은 $R_A=0.78$, $R_B=0.97$, $R_L=0.86$ 으로 비교적 좋은 값을 나타냄을 알 수 있다.

표 6. 이목정 유역의 Horton 차수비

	30m-0.2km ²	30m-0.5km ²	50m-1km ²	50m-5km ²	홍일표	이정식
R_A	2.45	3.17	4.54	3.16	4.73	4.55
R_L	2.76	3.65	2.69	3.90	2.39	2.38
R_B	4.41	5.29	2.47	5.65	3.79	3.88

하천의 수문학적 응답의 구조를 나타내는 것의 대표적인 순간단위유량도(Instantaneous Unit Hydrograph, IUH)는 유역의 지형학적인 구조와 함께 고려되어야 한다. Arc-view를 적용한 결과를 삼각순단위도(TIUH)를 이용하여 평균유속과 Horton's ratio에 따른 모형에 적용한 결과는 다음과 같다.

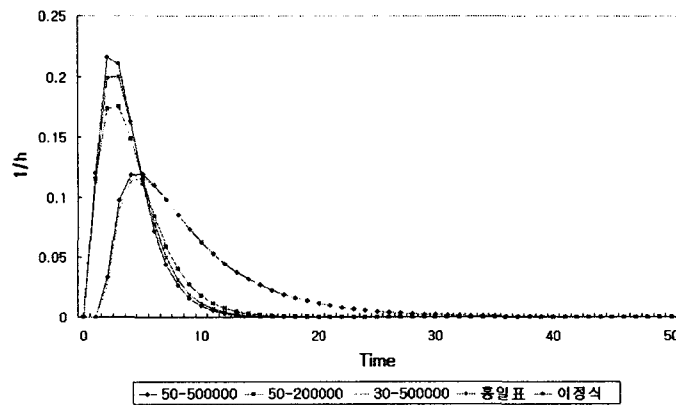


그림 5. TIUH 적용결과

4. 결론

본 연구에서는 GIUH 모형의 적용시 필요한 지형학적 인자를 추출하기 위해 DEM(Digital Elevation Model)과 GIS 도구인 Arc-View를 이용하였다. 여기서 얻은 지형인자를 이목정 유역에 적용한 후 기존의 수작업을 이용한 결과와 비교하여 보았다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) CSA를 $0.2km^2$ 이하로 설정하여 분석 했을 경우에는 DEM 격자 간격에 상관없이 기존의 수작업을 통해 얻은 결과와 매우 유사한 값을 나타내었으나(그림 5. 참조), $0.5km^2$ 이상 일 경우에는 다른 결과를 보임을 확인할 수 있었다. 이를 통해 Arc-view를 이용하여 지형인자를 추출할 경우 적절한 CSA의 설정이 매우 중요함을 알 수 있었다.
- (2) 수작업을 통한 지형인자의 추출작업은 많은 작업시간을 필요로 하며 또한 이용자에 따라 달라지는 결과를 얻게되는 단점이 있지만 본 연구에서처럼 GIS 도구와 수치지도를 이용할 경우 작업시간을 줄이면서도 객관적인 결과를 얻을 수 있다.