

GIS를 이용한 지형학적 순간단위도의 유도

○허창환¹⁾, 지홍기²⁾, 이순탁³⁾

1. 서론

유역의 강우-유출에 대한 응답을 하도망의 지형학적 특성을 이용하여 해석하고자 하는 많은 시도가 있었는데 Rodriguez-Iturbe and Valdes(1979)가 지형학적 순간단위도의 개념을 소개하였으며, 그 후에 Gupta(1980) 등에 의해서 일반화 되었다. 지형학적 순간단위도(Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph ; GIUH)의 기본 개념은 유역출구에서의 도달시간의 분포는 하도망의 지형특성과 유역에 내린 강우입자들의 수리학적 특성에 영향을 받는다는 것이다. Rodriguez-Iturbe and Valses가 제안한 GIUH는 지형특성인자를 Horton 하천차수법칙으로 나타내고 유역에 떨어진 강우입자의 도달시간을 지수분포로 나타내었다. 유역에 떨어진 강우입자의 평균 도달시간은 하천차수의 평균길이에 비례하며, 유속은 유역전체에 걸쳐 일정하다고 가정하였다. Rinaldo(1991) 등은 Rodriguez-Iturbe and Valses가 제안한 방법과 같은 구조로 지형특성은 Horton 차수법칙을 이용하였으나, 강우입자의 도달시간을 지수분포형태에서 Gaussian 분포로 바꾸어 해석하였다. 따라서, GIUH를 유도하기 위해서는 위에서 언급한 두가지 요소가 필요한데 그 하나는 지형특성인자이며, 다른 하나는 강우입자의 수리학적 특성인자로 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 GIUH를 유도하기 위해서 필요한 지형특성인자를 DEM 자료를 이용하여 GIS 기법으로 추출하여 GIUH를 유도하고자 한다.

2. 하천지형의 기본이론

자연하천유역의 구성과 하도망의 형태에 관한 정량적인 연구는 Horton(1945)이 그가 제시한 하천 차수법칙을 적용하여 하도의 개수, 하도길이 등에 관한 지형법칙을 제안한 것에서 시작되었다. Strahler(1952)는 Horton의 차수법칙을 수정하여 체계화시켰으며, Melton(1959)은 이를 수학적

-
- 1) 영남대학교 토목공학과 대학원 박사과정
 - 2) 영남대학교 토목공학과 교수(공학박사)
 - 3) 영남대학교 토목공학과 교수(공학박사, 이학박사, 명예공학박사)

으로 유명하였다. Strahler(1952)가 체계화한 Horton의 법칙에 의한 하천차수 부여방법은 다음과 같다.

- (1) 하천의 시점에서 시작하는 하천을 1차 하천이라 한다.
- (2) 차수가 ω 인 2개 하천이 만나서 이루어진 하천의 차수는 $\omega+1$ 차이다.
- (3) 차수가 다른 2개 하천이 만나서 이루어진 하천의 차수는 만나기 전의 하천중에서 차수가 높은 쪽으로 유지한다.
- (4) 유역의 차수는 최고차 하천의 차수 Ω 라 한다.

Horton의 하천차수법칙은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

◦ 하천 분기비 $R_B = \frac{N_{\omega-1}}{N_{\omega}}$ -----(1)

◦ 하천 길이비 $R_L = \frac{L_{\omega}}{L_{\omega-1}}$ -----(2)

◦ 하천 면적비 $R_A = \frac{A_{\omega}}{A_{\omega-1}}$ -----(3)

경험적으로 보아 자연 하천유역에서 분기비는 3.0~5.0, 길이비는 1.5~3.5, 면적비는 3.0~6.0의 값을 갖는다.

3. GIUH 모형

GIUH 모형은 강우-유출과정의 물리적인 특성에 영향을 미치는 유역의 지형학적 특성과 수문학적 응답을 접목시킨 모형으로 규칙성을 가지고 있는 유역의 하천 및 하도망의 구조적인 특성을 잘 나타내는 Horton의 하천차수법칙을 이용하여 순간단위도(Instantaneous Unit Hydrograph ; IUH)를 유도하는 것이다. GIUH 모형은 Rodriguez-Iturbe와 Valdes(1979)에 의해 제안되었는데 Markov-Process를 기본형태로 하여 유역의 수문학적 응답인 IUH와 지형학적 특성을 결합시켰으며, 유역에 내린 강우 입자들의 유역출구에서의 도달시간 분포를 추계학적으로 정의하여 GIUH를 제안하였다. 그러나 식의 형태가 복잡하여 적용하기에 어려운 점이 많으므로 회귀분석을 통해서 GIUH의 첨두치인 q_p 및 첨두도달시간 t_p 와 차수비인 R_A, R_B, R_L 및 유속과 유로연장과의 관계를 구하여 GIUH의 첨두유량과 첨두도달시간을 Horton의 지형법칙에 따른 지형인자와 유출속도의 함수로 나타내었다.

$$q_p = 0.364 R_L^{0.43} v L \bar{\omega}^{-1} \text{ -----(4)}$$

$$t_p = 1.584 (R_B / R_A)^{0.55} R_L^{-0.38} v^{-1} L_Q \text{-----}(5)$$

Rosso(1984)는 Nash 모형에서 IUH의 첨두치와 첨두발생시간의 무차원 곱을 식 6과 같이 Nash 모형의 형상계수만으로 나타냈다.

$$h(t) = GIUH(t) = \frac{1}{K\Gamma(\alpha)} \frac{t^{\alpha-1}}{K} e^{-\frac{t}{K}} \text{-----}(6)$$

독립변수 α 와 종속변수 R_A, R_B, R_L 의 관계는 다중회귀분석을 이용하여 식 7과 같이 구할 수 있으며, K 에 대해서도 같은 방법으로 식 8과 같이 구할 수 있다. 여기서, Horton 차수비는 각각 $2.5 \leq R_A \leq 5.0$ $3.0 \leq R_B \leq 6.0$ 및 $1.5 \leq R_L \leq 4.1$ 범위이며, 이 수치들은 일반적으로 자연하천에서 나타나는 값들이다.

$$\alpha = 3.29 (R_B / R_A)^{0.78} R_L^{0.07} \text{-----}(7)$$

$$K = 0.70 [R_A / R_B R_L]^{0.48} v^{-1} L_Q \text{-----}(8)$$

4. 지형자료의 구축

본 연구에서 GIS를 이용하여 강우-유출해석을 위해서 비교적 정밀한 강우, 수위 및 유량 등의 수문관측자료가 있는 우리나라 주요 4대강의 하나인 낙동강 유역의 국제수문개발계획(IHP) 대표 시험유역으로 선정되어 관리되고 있는 위천의 동곡유역을 대상으로 하였다. 위천유역은 유역내에 자기수위관측소 6개소와 자기유량관측소 11개소 있고, 1982년부터 수문관측이 실시되어 왔다. 공간상에 나타나는 연속적인 기복의 변화를 수치적으로 표현하는 방법을 수치고도자료(DEM)이라 하며 수치지형자료(DTM)는 고도 뿐만 아니라 지표의 다른 속성도 포함하기 때문에 포괄적인 의미로 사용되며, 고도에 관한 경우에는 DEM이라는 용어가 주로 사용되고 있다. 평면상의 위치를 x, y 좌표로 표현하기 때문에 고도값은 세 번째 차원 즉, z 좌표로 표현된다. 현재 국내에서 가장 쉽게 입수할 수 있는 DEM 자료는 환경부에서 제공하는 자료가 있는데 본 연구에서 미국지질조사국(USGS)에서 제작한 30m 해상도의 환경부자료를 입수하여 사용하고자 한다.

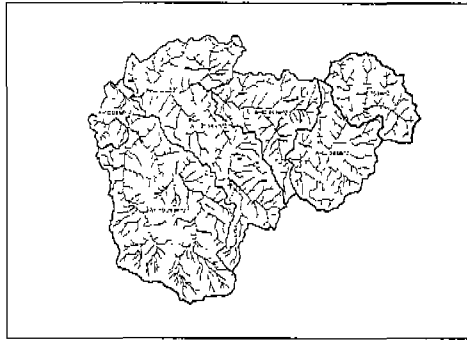


그림 1 위천유역도

위천의 동곡유역을 대상으로 DEM 자료를 이용하여 1차 하천의 최소면적을 $A=0.10, 0.15, 0.20, 0.25 \text{ km}^2$ 로 변화시켜 Horton의 차수비를 산정하였다. 최소면적 $A=0.10$ 인 경우, 동곡유역에서 1차 하천수는 90개이고 $A=0.15$ 에서는 57개, $A=0.20$ 에서는 44개 및 $A=0.25$ 에서는 37개로 나타났다.

표 1 동곡유역의 1차 하천의 최소면적별 지형특성인자

최소면적($A=0.10 \text{ km}^2$)				최소면적($A=0.20 \text{ km}^2$)			
하천차수	하천의 개수	평균유로 연장(km)	평균유역 면적(km^2)	하천차수	하천의 개수	평균유로 연장(km)	평균유역 면적(km^2)
1	90	0.358	0.218	1	44	0.493	0.444
2	17	0.883	1.163	2	8	1.546	2.588
3	5	1.868	5.187	3	3	1.639	5.953
4	1	5.682	33.417	4	1	4.937	33.417
최소면적($A=0.15 \text{ km}^2$)				최소면적($A=0.25 \text{ km}^2$)			
하천차수	하천의 개수	평균유로 연장(km)	평균유역 면적(km^2)	하천차수	하천의 개수	평균유로 연장(km)	평균유역 면적(km^2)
1	57	0.416	0.322	1	37	0.492	0.522
2	13	0.923	1.381	2	7	1.686	3.121
3	5	1.735	5.187	3	2	2.874	10.254
4	1	5.682	33.417	4	1	3.173	33.417

표 2 동곡유역의 1차하천의 최소면적별 Horton 차수비

차수비	면적			
	$A=0.10 \text{ km}^2$	$A=0.15 \text{ km}^2$	$A=0.20 \text{ km}^2$	$A=0.25 \text{ km}^2$
R_A	5.41	4.83	4.58	4.17
R_B	4.57	4.00	3.72	3.60
R_L	2.54	2.46	2.40	2.08

5. 모형의 적용

본 연구에서 GIS 기법을 이용하여 유도한 GIUH 모형의 적용성을 검토하기 위하여 IHP 대표 유역 중 위천의 동곡 소유역을 대상으로 수문자료를 수집하여 검토하였다. 분석에 이용한 홍수사상은 1997년에 발생한 강우를 이용하였다. 각 사상별로 유효우량은 SCS법을 이용하였으며, 기저유량은 수평분리법으로 구분하였다. 분석한 결과 실측치와 비교적 일치하였으며, 1차 하천의 최소면적별로 구분하여 실측치와 비교한 결과는 그림 2와 같다.

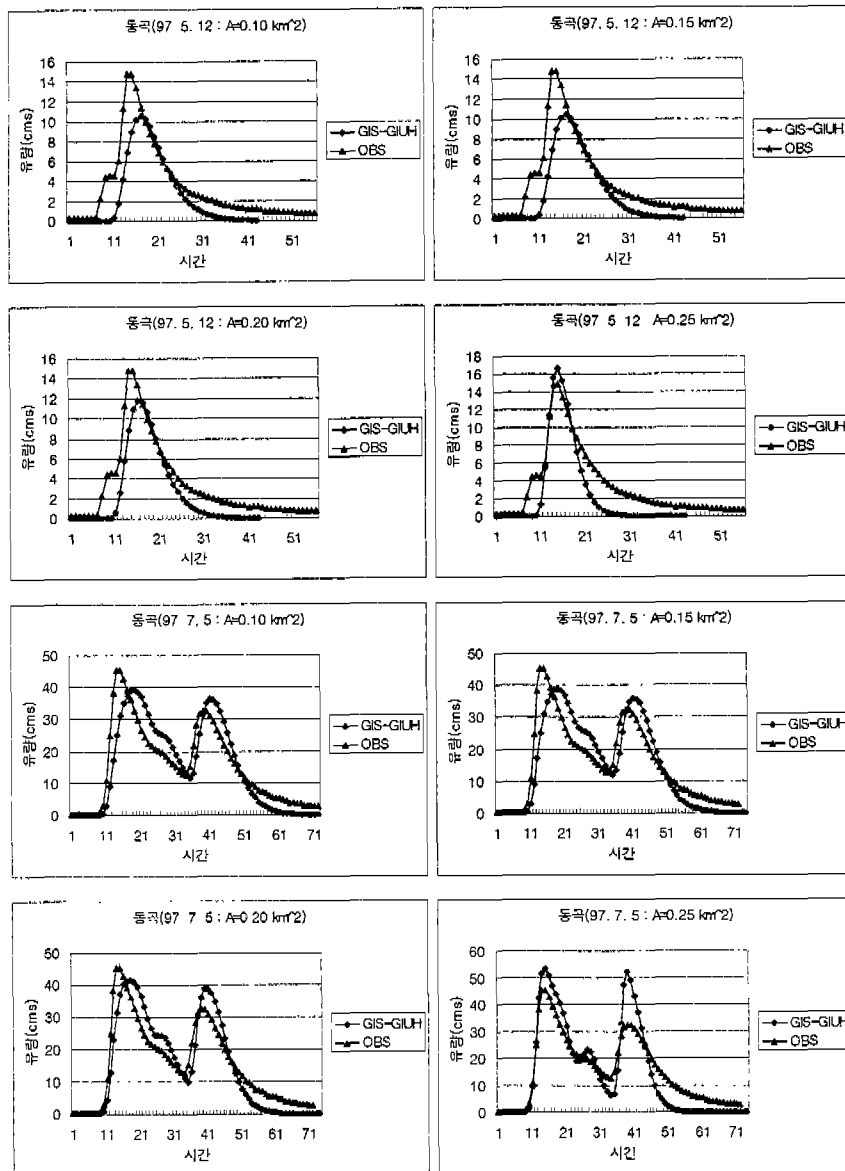


그림 2 1차 하천의 최소면적별 유출수문곡선의 비교

6. 결 론

IHP 위천대표유역의 동곡을 대상으로 GIS를 이용하여 유도한 GIUH를 이용하여 실측치와 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 유역의 수문응답함수인 지형학적 순간단위도에 필요한 매개변수를 Markov 확률이론과 GIS 기법을 이용하여 DEM 자료로부터 산정하여 GIS를 기반으로 한 지형학적 순간단위도를 유도할 수 있었다.

2) 지형학적 순간단위도를 이용하여 실제 강우사상과 비교한 결과 실측치와 유사하게 나타났다. 1차 하천을 형성하는 하천유역의 최소면적을 변화시킨 결과 면적이 증가하면 침투치가 증가하는 경향을 보이고 침투시간은 감소하고 있음을 알 수 있었다.

3) GIS기법을 이용함으로써 Horton의 차수비의 관계를 이용한 매개변수 산정에 시간과 노력을 경감시켰고 실측치와 비교한 결과가 일치함으로 미계측 유역에 무리없이 적용할 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- I. Muzik(1996) A GIS-derived distributed unit hydrograph, Application of Geographic Information System in Hydrology and Water Resources Management, IAHS Publ. No. 235, pp453~460.
- Jurgen Gabrecht and Lawrence W. Martz(1996) Digital landscape parameterization for hydrological applications, Application of Geographic Information System in Hydrology and Water Resources Management, IAHS Publ. No. 235, pp169~173.
- Macro Framchini, P. Enda O'Connel(1996) An analysis of the dynamic component of the geomorphologic instantaneous unit hydrograph, Journal of Hydrology No. 175, pp 407~428.
- Rodriguez-Iturbe and Andrea Rinaldo(1997) Fractal River Basins, Cambridge University Press.
- Y. Tachikawa, T. Takasao(1996) Tin-based topographic modeling and runoff prediction using a basin geomorphic information system, Application of Geographic Information System in Hydrology and Water Resources Management, IAHS Publ. No. 235, pp225~232.
- 건설부(1997) “국제수문개발계획(IHP)” 연구보고서.
- 이순탁, 박종권(1987) 하천유출량 산정을 위한 GIUH 모델, 한국수자원학회 논문집 제 20권 제4호 pp267~278
- 이혁규, 윤석영, 김재한(1995) GIUH의 지체시간 산정을 위한 수문학적 해석, 한국수자원학회 논문집 제 28권 제4호 pp155~169.