

하천유역에서 GIS를 이용한 GIUH 모형의 해석 Analysis of GIUH Model by Using GIS in River Basin

허 창 환* / 이 순 탁**

Heo, Chang Hwan / Lee, Soontak

Abstract

This study aims at the analysis of the geomorphological instantaneous unit hydrograph model (GIS-GIUH) with geographic information system for the rainfall-runoff analysis of the watershed which is ungauged or doesn't have sufficient hydrologic data. The rainfall-runoff analysis was performed in Wi stream(Dongkok, Koro, Miseung, Byeungchun, Hyoreung, Museung) which is a representative experimental river basin of IHP. In the process of analysis of the GIUH model, developed GIS-GIUH model and Rosso-GIUH model were applied the study basin and computed hydrographs by these models were compared with observed hydrograph.

The GIS-GIUH model shows more closely to the observed hydrograph than Rosso-GIUH model in the peak discharge of the hydrograph. For the development of the GIS-GIUH model, Gamma function factor N was given by $N=3.25(R_B/R_A)^{0.126}R_L^{-0.055}$, which is the relation of the watershed geomorphological factor, K was also obtained as $K=1.50(R_A/(R_B \cdot R_L))^{0.10} \cdot ((L_Q+L_{Q-1})/V)^{0.37}$. As the results of analysis, it was found that GIS-GIUH model can be applied to an ungauged watersheds.

keywords : geomorphological characteristics, GIUH, runoff, GIS, DEM

요 지

본 연구는 미계측유역이나 자료가 결핍된 유역에서 지리정보시스템을 이용하여 지형학적 순간단위도(GIS-GIUH)를 해석하는데 목적이 있으며, IHP 위천대표시험유역의 6개지점(동곡, 고로, 미성, 병천, 효령, 무성)에 대하여 강우-유출해석을 실시하였다. 지형학적 순간단위도의 분석에는 본 연구에서 제안한 GIS-GIUH 모형과 Rosso-GIUH 모형을 이용하여 계산된 결과를 실측유출수문곡선과 비교하였다.

분석결과 GIS-GIUH 모형이 Rosso-GIUH 모형보다 실측수문곡선에 더욱 접근하여 우수한 결과를 보이고 있었으며, GIS-GIUH 모형의 매개변수인 $N=3.25(R_B/R_A)^{0.126}R_L^{-0.055}$ 과 $K=1.50(R_A/(R_B \cdot R_L))^{0.10} \cdot ((L_Q+L_{Q-1})/V)^{0.37}$ 을 지형특성의 관계식으로 제시하였다. 본 연구에서 개발한 GIS-GIUH 모형이 미계측 유역에서 적용 가능성이 높은 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 지형학적 특성, 지형학적 순간단위도, 유출, 지리정보시스템, 수치표고모형

* 충주대학교 토목공학과 강사

Part-Time Lecturer Dept. of Civil Engineering, Chungju National University, Chungju, Chungbuk 380-702, Korea
(E-mail : chheo@hanmail.net)

** 영남대학교 토목도시환경공학부 교수

Prof., School of Civil, Urban and Environmental Engineering, Yeungnam University, Kyungsan, Kyungbuk 712-749, Korea
(E-mail : leest@yu.ac.kr)

1. 서론

강우-유출현상을 가능한 실제현상에 접근시키고 단순화시켜서 예측오차를 최소화하는데 이용되는 수문모형은 확정론적 모형과 추계학적 모형으로 나눌 수 있다. 확정론적 모형은 물의 순환과정 중에서 침투, 지표하 유출 또는 지하수 유출 등의 과정변수의 공간적 변화를 무시하느냐 또는 고려하느냐에 따라 집중모형과 분포모형으로 분류하고 있으며, 이들 모형의 수문기상인자와 유역의 지형특성인자간의 정확한 수학적 표현과 상관성 등을 규명하기가 어렵고 매개변수의 추정도 간단하지 않다. 또한 추계학적 모형은 미계측 유역이나 실측된 자료가 결핍된 경우 사용이 곤란하다. 따라서 두 모형의 대안으로 강우-유출과정의 물리적인 특성에 영향을 미치는 유역의 지형학적 특성을 이용할 수 있는 모형의 필요성이 대두되었다.

Horton이 제안한 하천차수법칙을 기본으로 Strahler의 하천차수법칙 등의 이론이 정립됨으로써 수문학적 비선형 응답 모형의 유출해석에 지형학적 특성을 결부시키는 계기가 되었으며, 유역의 지형학적 특성을 이용한 모형은 미계측 유역이나 자료가 결핍된 유역에 있어서 지형도로부터 유역의 지형인자를 직접 측정하여 강우-유출과정을 설명할 수 있으므로 쉽게 이용될 수 있었다. 지형 특성을 이용한 강우-유출해석 과정을 모형화하기 위한 연구과정을 살펴보면, Rodriguez-Iturbe와 Valdes (1979)가 순간단위도와 지형학적 특성을 결합시켜 지형학적 순간단위도(Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph : GIUH)를 제안하였으며, 그 후 Gupta(1980), Rosso(1984) Franchini Marco and O'Connell(1996) 등에 의해 활발한 연구가 이루어졌다.

한편 국내에서도 GIUH에 관한 연구로서 박종권(1987)의 지형인자를 고려한 하천유출량 산정에 관한 연구가 있었고, 조홍제(1990)의 하도망의 기하학적 특성을 이용한 지형학적 순간단위도의 해석, 홍일표(1998)의 하천프랙탈 특성을 고려한 지형학적 순간단위도의 개발 등 많은 연구가 있었다. 그런데 지형특성인자를 지형도로부터 직접 구하는데 많은 시간과 노력이 요구되었는데, 이를 지리정보시스템(Geographic Information System : GIS)를 이용한다면 보다 정확하고 신속하게 지형특성인자를 구할 수 있을 것이다. GIS를 이용하는 중요한 목적 중 하나는 하천유역의 분수계를 결정하고, 하천의 지형학적 특성을 자동화하여 구할 수 있다는 것이다.

이와 같은 국외의 연구로서 Peucker(1973)는 불규칙 삼각망(Triangulated Irregular Network : TIN)을 이용하여 하천과 능선을 표시하는 방법을 제안하였고 Lawrence(1986)는 수치표고모형(Digital Elevation Model : DEM)을 통하여 유역의 분할에 대한 연구를 수행하였으며, 그 후 Jenson(1988), James(1991), David (1994)가 하천유역에서 지형학적 특성인자를 정량화할 수 있는 활발한 연구를 수행하였다.

국내에서는 엄무섭(1991)이 ERDAS를 이용하여 지형정보를 해석하고 유출모형에 적용하였으며, 함정학(1996)은 Arc/Info의 Grid 모듈을 이용하여 DEM을 활용한 지형정보추출에 관한 연구를 수행하였다. 그 후 신사철(1996), 김상현(1996), 조홍제(1997), 김정탁(1998), 이범희(1998)가 GIS를 이용한 유출해석에 관한 활발한 연구를 수행하였으나, GIS를 이용한 지형학적 순간단위도에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 미계측유역이나 자료가 결핍된 하천유역의 강우-유출해석을 위하여 지형학적 순간단위도의 해석에 필요한 매개변수를 GIS를 이용하여 산정하고 이로부터 유출해석을 모의할 수 있는 기법을 규명하고자 한다.

2. 기본이론

GIUH 모형은 Rodriguez-Iturbe와 Valdes에 의해 소개되었으며, 그 후 Gupta 등에 의해 일반화되었다. Markov-Process를 기본형태로 하여 유역의 수문학적 응답인 순간단위도(Instantaneous Unit Hydrograph : IUH)와 지형특성을 접목시켜 유역에 내린 강우 입자들에 대한 유역출구에서의 도달시간 분포를 추계학적으로 정의하여 GIUH를 제안하였다. GIUH는 하도망에서 강우입자의 움직임은 시·공간적으로 해석함으로써 구할 수 있는데 유역의 하천차수를 Ω 라 할 때, Strahler의 차수 i 에 따른 수로의 상태를 C_i , $1 \leq i \leq \Omega$, i 차의 하도로 배수되는 사면을 O_i , $1 \leq i \leq \Omega$ 라 하고 수로 위로 떨어지는 강우입자를 무시한다면, 처음에 강우입자는 사면에만 위치하게 된다. 결론적으로 초기상태 O_i 에 위치한 강우입자는 다음의 규칙에 따라 유역출구로 이동한다.

- 상태 O_i 에서는 C_i 로만 이동 : $O_i \rightarrow C_i$, $1 \leq i \leq \Omega$
- 상태 C_i 에서는 C_j 로만 이동 : $C_i \rightarrow C_j$,

- $j > i, i=1,2,\dots,\Omega$
 • 상태 $C_{\Omega+1}$ 은 유역의 출구.

위의 규칙에 의해 임의경로 r 의 집합을 $\Gamma = r_1, r_2, r_3, r_4$ 라 하면 강우입자의 이동가능 경로는 다음과 같다.

- 경로 1(r_1) : $O_1 \rightarrow C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4$ (출구)
- 경로 2(r_2) : $O_1 \rightarrow C_1 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4$ (출구)
- 경로 3(r_3) : $O_2 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4$ (출구)
- 경로 4(r_4) : $O_3 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4$ (출구)

또한 경로 r 을 통해 유역출구까지의 도달시간 T_r 는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_r = T_{x_1} + \dots + T_{x_K} \quad (1)$$

여기서, r 는 임의의 강우입자 이동경로 ($r = \langle x_1, \dots, x_K \rangle$), x_K 는 사면과 수로를 통한 이동경로 $x_1, \dots, x_K \in (O_1, \dots, O_\Omega, C_1, \dots, C_\Omega)$ 이다.

경로 r_2 의 경우 강우입자의 이동은 $O_1 \rightarrow C_1 \rightarrow C_3$ 로 정의되며, 도달시간은 $T_r = T_{O_1} + T_{C_1} + T_{C_3}$ 가 된다. 유역전반에 내린 강우입자가 유역출구까지 도달하는 시간의 분포 $f(t)$ 는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$f(t) = \sum_{r \in \Gamma} p(r) f_{x_w} * \dots * f_{x_\Omega}(t) \quad (2)$$

여기서, *는 회선적분을 나타내는 것이며, r 는 임의의 강우입자가 이동하는 경로이다. 또한 Γ 는 유역 내에서 강우입자가 출구로 이동할 수 있는 모든 경로이며, $p(r)$ 는 강우입자가 임의의 경로 r 를 따라서 이동할 확률로서 식(3)과 같다.

$$p(r) = \pi_{x_w} P_{x_w, x_{w+1}} \dots P_{x_{w+1}, x_{w+2}} \dots P_{x_{\Omega-1}, x_\Omega} \quad (3)$$

여기서, π_{x_w} 는 사면에 내린 강우 입자가 w 차 하천으로 유입되는 확률이며, $P_{x_w, x_{w+1}}$ 는 상태 x_w 에서 상태 x_{w+1} 로 이동하는 천이확률을 의미한다.

초기상태확률 π_i 와 천이확률 $p_{i,j}$ 는 유역의 지형학적인 인자의 함수로 식(4)~(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\pi_i = \frac{(i \text{ 차 하천으로 직접 유입되는 하천의 전체 유역면적})}{(\text{전체유역면적})} \quad (4)$$

$$p_{i,j} = \frac{(j \text{ 차 하천과 합류하는 } i \text{ 차 하천의 개수})}{(i \text{ 차 하천의 총개수})} \quad (5)$$

또한 Gupta 등은 Strahler의 i 차 하천의 개수 N_i 를 이용하여 천이확률을 식(6)과 같이 나타낼 수 있다고 제안하였다.

$$p_{i,j} = \frac{(N_i - 2N_{i+1}) E(j, \Omega)}{\sum_{K=i+1}^{\Omega} E(K, \Omega) N_K} + \frac{2N_{i+1}}{N_i} \delta_{i+1,j} \quad (6)$$

여기서, δ 는 Kronecker의 delta 분포 ($j = i+1$ 이면 $\delta_{i+1,j} = 1$ $j \neq i+1$ 이면 $\delta_{i+1,j} = 0$)이고 $E(i, \Omega)$ 는 식(7)과 같이 Ω 차수 유역에서 i 차수 하천의 평균개수를 나타낸다.

$$E(i, \Omega) = N_i \prod_{j=2}^i \frac{(N_{j-1} - 1)}{2N_{j-1}}, i=2, \dots, \Omega \quad (7)$$

Rodriguez-Iturbe와 Valdes(1979, 1997)는 GIUH의 가장 중요한 특성인 침투유량 Q_b 와 침투발생시간 T_b 를 아래와 같이 제안하였다.

$$T_b = 0.44 \frac{L(\Omega)}{V} \left(\frac{R_B}{R_A} \right)^{0.55} R_L^{-0.38} \quad (8)$$

$$Q_b = \frac{1.31 V}{L(\Omega) R_L^{0.43}} \quad (9)$$

여기서, $L(\Omega)$ 는 간선차수의 유로연장, R_A 는 하천면적비($R_A = \frac{A_w}{A_{w-1}}$), R_B 는 하천분기비($R_B = \frac{N_{w-1}}{N_w}$),

R_L 는 하천길이의 비($R_L = \frac{L_w}{L_{w-1}}$)이다. 또한 Rosso(1984)는 식(8)~(9)의 침투유량과 침투시간을 가진 지형학적 순간단위도를 2변수 감마확률밀도함수인 식(10)와 같이 나타내었다.

$$f(t) = \frac{1}{K\Gamma(N)} \frac{t^{N-1}}{K} e^{-\frac{t}{K}} \quad (10)$$

여기서, $N = 3.29 (R_B / R_A)^{0.78} R_L^{0.07}$,

$$K = 0.70 [R_A / R_B R_L]^{0.48} V^{-1} L(\Omega)$$

3. 지형자료의 구축

본 연구에서 GIUH 모형을 적용하기 위한 대상유역은 국제수문개발계획(IHP)에 의하여 우리나라에서 선정되어 운영되고 있는 위천대표유역을 선정하였다. 위천대표유역은 전체면적이 약 471.424 km²이며, 경상북도 군위군을 중심으로 하여 의성군, 구미시, 칠곡군, 대구광역시, 영천군 및 청송군으로 둘러싸여 있다. 이 유역에는 건설교통부에서 직접 관리·운영하는 11개의 우량관측소(군위남부, 효령, 대울, 고매, 우보, 산성, 신령

서부, 의흥, 화수, 화산, 석산)와 6개의 수위관측소(동곡, 고로, 미성, 병천, 효령, 무성)가 있으며, 이를 유역출구로 하여 유역의 경계를 구축하였다.

3.1 수치표고모형

수치표고모형은 공간상에 나타나는 연속적인 기복의 변화를 수치적으로 표현하는데, 평면상의 위치를 x, y 좌표로 표현하고 고도값은 세 번째 차원 즉, z 좌표로 표현된다. 본 연구에서 사용한 수치표고모형은 환경부에서 제공하는 자료를 사용하였는데 1/50,000 축척의

표 1. 유역의 지형특성인자

지점명	하천차수	1	2	3	4	5	6
동곡	하천개수(N)	44	8	3	1	-	-
	평균유로연장(km)	0.493	1.546	1.639	4.937	-	-
	평균유역면적(km ²)	0.444	2.588	5.953	33.417	-	-
고로	하천개수(N)	135	29	10	2	1	-
	평균유로연장(km)	0.506	1.564	2.093	8.366	1.598	-
	평균유역면적(km ²)	0.425	2.354	6.879	51.554	108.782	-
미성	하천개수(N)	217	48	15	3	1	-
	평균유로연장(km)	0.507	1.435	1.952	5.842	15.804	-
	평균유역면적(km ²)	0.447	2.225	6.784	42.365	171.642	-
병천	하천개수(N)	384	88	24	5	1	-
	평균유로연장(km)	0.586	1.330	2.330	6.402	24.957	-
	평균유역면적(km ²)	0.460	2.052	7.730	40.842	303.516	-
효령	하천개수(N)	195	44	8	2	1	-
	평균유로연장(km)	0.669	1.460	2.221	13.874	1.867	-
	평균유역면적(km ²)	0.497	2.170	8.598	73.469	150.198	-
무성	하천개수(N)	603	135	33	7	2	1
	평균유로연장(km)	0.616	1.376	2.292	8.537	15.556	3.357
	평균유역면적(km ²)	0.471	2.092	7.941	50.164	233.578	471.424

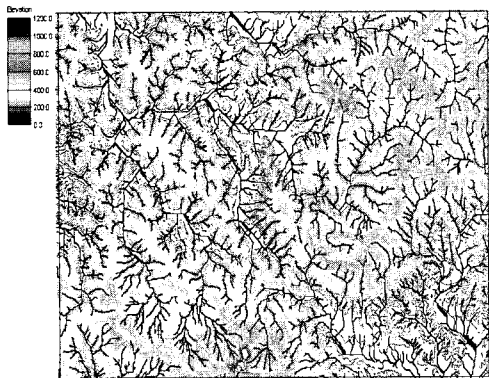


그림 1. 하천망 추출

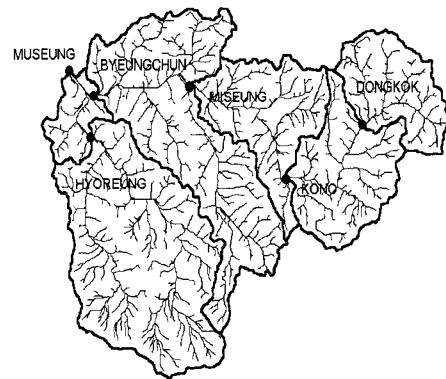


그림 2. 유역경계구분

지형도를 900×900개의 격자로 분할하여 수치화시킨 것이다. 위천유역에 해당하는 1/50,000 축척의 지형도는 군위(도엽번호 36815), 화북(도엽번호 36816)인데 이들 두 개의 지형도에 해당하는 수치표고모형을 접합하여 사용하였다.

3.2 하천망 및 유역경계 구축

격자방식의 DEM 자료로부터 지표면에 대한 수문학적 특성을 추출하는 요소 중에서 가장 중요한 것은 모든 격자로부터 흐름의 방향을 결정하는 것이다. DEM 자료로부터 하천망을 추출하는 순서는 하나의 격자에서 인접한 8개의 격자와 고도값을 비교하여 가장 낮은 고도값을 갖는 방향으로 흐름의 방향을 정한다. 각 격자에 대한 흐름방향을 결정하고 유로를 결정하기 위해서는 최소흐름 누적수를 부여하여 유로를 결정한다. 본 연구에서는 1차 하천의 최소면적이 0.20 km²가 되도록 하도망을 그림 1과 같이 구성하였다. 위천유역에는 6개의 수위표 지점이 있으며, 한국수문조사연보에 나타난 좌표와 가장 근접한 하천망 위에 수위표 지점을 표시하고 이 지점을 기준으로 6개의 소유역으로 그림 2와 같이 구분하였다.

표 1은 그림 2에서 자동분할한 유역경계를 기초로 위천유역의 6개 수위표(동곡, 고로, 미성, 병천, 효령, 무성)에 대해서 하천 차수별로 산정한 하천의 개수, 유역면적, 유로연장을 나타낸 것이다.

4. 적용 및 분석

전기한 내용의 지형학적 순간단위도에 실제 호우사상을 적용하여 강우-유출해석을 실시하고 그 결과를 실측유출수문곡선에 적용시켜 모형의 적합성을 비교·분석하고자 한다. 적용유역은 강우, 수위 및 유량 등의 자료가 풍부한 IHP 대표유역인 위천대표유역을 선정하였으며, 유역 내에 자기 강우관측소 11개소와 자기수위관측소 6개소는 1982년부터 현재까지 수문관측이 실시되고 있다. 따라서 본 연구에서는 수위관측소를 각각 소유역으로 하는 6개 지점(동곡, 고로, 미성, 병천, 효령

및 무성)을 대상으로 실제 호우사상을 적용토록 하였다.

4.1 매개변수 추정

Rosso가 제안한 2변수 Gamma 분포함수를 이용한 GIUH 모형은 형상계수(N)와 규모계수(K)를 하천의 지형학적 특성으로 나타낸 것이며, Nash가 제안한 2변수 Gamma 분포함수를 이용해서 GIUH를 산정하였다. Nash 모형은 저수지를 S=KO로 가정하여 선형모형으로 유역출구에 N 개의 동일한 선형저수지가 위치한다고 가정하여 유역의 순간단위도를 식(11)과 같이 계산하는 것이다.

$$O(t) = \frac{1}{KI(N)} \frac{t}{K}^{N-1} e^{-\frac{t}{K}} \quad (11)$$

식(11)은 유역전반에 걸쳐 순간적으로 내린 단위유출량(1 mm/hr)을 유역출구에서 N 개의 가상 저수지를 통해서 선형추적하여 순간단위도의 총계치를 계산하는 식으로 O(t)에 유역면적(km²)을 곱한 후 단위를 m³/sec가 되도록 환산하면 유역의 순간단위도가 된다. 따라서 식(11)에 의해 순간단위도를 계산하기 위해서는 N 개의 저수지 개수와 저류상수 K의 결정이 필요하다. 위천대표유역은 실측된 강우-유출자료가 풍부하므로 Nash 모형의 매개변수 N, K를 모멘트법에 의하여 식(12)~(13)에 적용하여 결정할 수 있다.

$$M_1 = NK \quad (12)$$

$$M_2 = N(N+1)K^2 \quad (13)$$

따라서 본 연구에서는 GIUH 모형의 N과 K를 결정하기 위하여 위천대표 유역에서 발생한 실제 강우사상을 모멘트법을 사용하여 구하고 이를 표 2에 나타난 지형특성과 다중회귀분석을 실시하여 식(14)~(15)과 같이 나타내었다.

$$N = 3.25 \left(\frac{R_B}{R_A} \right)^{0.126} R_L^{-0.055} \quad (14)$$

$$K = 1.50 \left[\frac{R_A}{R_B R_L} \right]^{0.10} \left[\frac{L_{\theta} + L_{\theta-1}}{v} \right]^{0.37} \quad (15)$$

표 2. 위천유역의 지점별 지형특성

소유역 지형특성	동곡	고로	미성	병천	효령	무성
R _A	4.58(3.70)	4.52(5.39)	4.58(4.67)	5.24(5.17)	4.73(6.58)	4.25(4.72)
R _B	3.72(3.05)	3.64(4.57)	3.93(4.05)	4.46(4.46)	3.98(5.40)	3.75(4.88)
R _L	2.40(1.62)	2.15(2.56)	2.39(1.27)	2.67(2.07)	2.52(2.72)	1.93(2.18)

()는 1/50,000 지형도를 사용하여 분석한 결과이고 R_A : 하천 면적비, R_B : 하천 분기비, R_L : 하천 길이비

여기서, L_{Ω} : 최고차 하천의 유로연장, $L_{\Omega-1}$:
(최고차-1)차 하천의 유로연장, v : 유속

식 (10)을 이용한 GIUH 모형(Rosso-GIUH 모형
이라 명함)을 적용하는데 여기에는 N과 K의 결정이
필요하다. 특히 K를 구하기 위해서는 유속을 산정해야
하는데 동일한 유역에서도 호우특성에 따라 각각 다른
값을 가지게 된다. 호우 발생시에 지체시간을 결정하여
유속을 산정할 경우 유역면적이 증가하게 되면 유로연
장과 지체시간이 증가하여 K 값이 커져 수문곡선이 평
탄해져 침투홍수량과 침투발생시간을 제대로 재현하지
못하게 된다. 따라서 본 분석에서는 이러한 문제점을
해소하고 유역의 특성을 보다 더 효과적으로 반영하기
위해서 K의 결정에 있어서 간선차수와 간선차수보다
차수가 하나 적은 하천의 차수를 사용하여 지수형태로
변환하여 식 (15)와 같이 나타낼 수 있었다.

4.2 결과의 고찰

본 연구에서는 강우-유출해석을 위해서 위천유역의
6개 지점을 대상으로 1986년 7월 21일, 1989년 7월
11일, 1990년 7월 18일, 1996년 6월 24일 및 1997년
5월 12일의 5개 호우에 대하여 식(11)을 이용하여 유
도한 지형학적 순간단위도(GIS-GIUH 모형이라 명함)
와 식(10)를 이용하여 유도한 지형학적 순간단위도
(Rosso-GIUH 모형이라 명함)를 적용하였으며, 그 결
과를 실측유출수문곡선과 비교·분석하였다. 또한
GIS-GIUH 모형과 Rosso-GIUH 모형을 비교할 수

있도록 유출수문곡선을 그림 3~8과 같이 작성하였으
며, 침투유량 및 침투발생시간의 비교는 표 3과 같다.
각 호우사상에 적용하여 작성된 유출수문곡선을 살펴보
면, 유역면적이 작은 동곡, 고로지점인 경우에는
GIS-GIUH 모형과 Rosso-GIUH 모형이 모두 우수
한 결과를 나타냈으나, 유역면적이 증가한 미성, 병천,
효령, 무성지점의 경우에 GIS-GIUH 모형의 결과는
우수하였으나, Rosso-GIUH 모형의 결과는 침투치와
침투발생시간이 실측치에 비교해서 최대 50% 정도의
차이를 보이고 있었다. 이는 Rosso-GIUH 모형의 매
개변수 중에서 간선차수의 유로연장을 나타내는 $L(\Omega)$
가 유역면적의 증가에 비례하여 증가함으로써 K 값이
크게 되어 순간단위도의 증가가 작아지고 기저시간이
증가하는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

4.3 적합성 검정

모형의 적합성 검정은 모형이 가지는 자료의 구조에
따라 통계치를 평가하는 방법, 시계열구조의 특수한 부
분을 평가하는 방법 및 시계열의 구조적 흐름 전체를
평가하는 방법 등이 있다. 그러나 유출수문곡선과 같이
자료의 계열이 연속성을 가질 때는 시계열구조의 특수
한 부분뿐만 아니라 자료의 시계열 전구간에서의 적합
성 평가가 필요하다.

따라서 본 연구에서 모형에 대한 검정은 GIS-
GIUH 모형과 Rosso-GIUH 모형의 관계식으로 산정
된 수문곡선과 관측된 실측수문곡선을 비교·검토하게
되며, 그 계산과정은 모형의 효율도(Model Efficient :

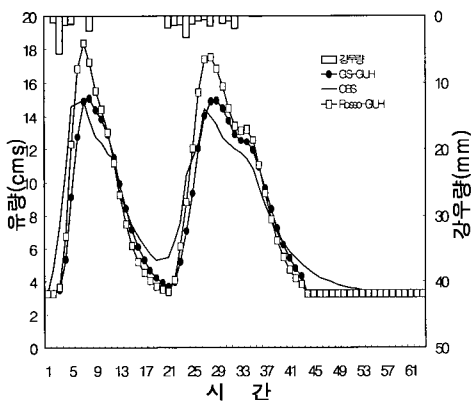


그림 3. 동곡지점의 각 모형별
홍수유출수문곡선의 비교(97.5.12)

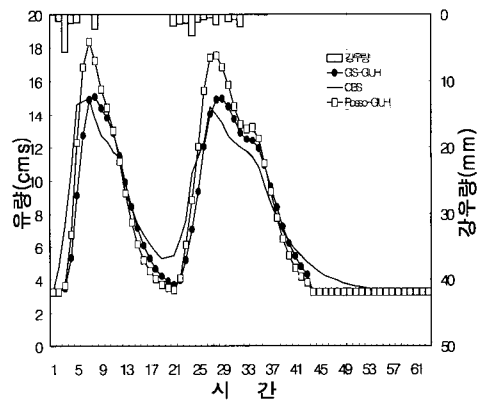


그림 4. 고로지점의 각 모형별
홍수유출수문곡선의 비교(89.7.11)

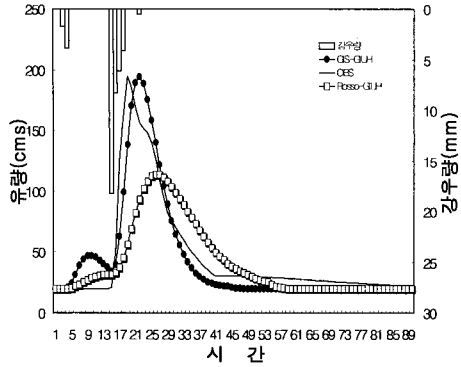


그림 5. 미성지점의 각 모형별
홍수유출수문곡선의 비교(90.7.18)

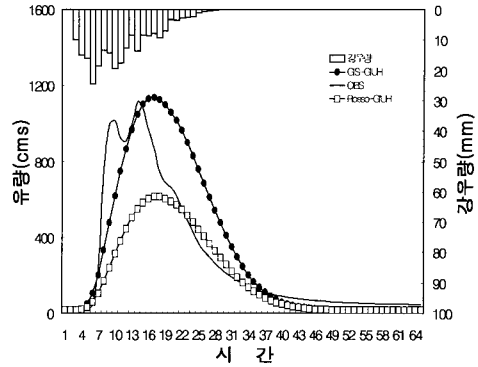


그림 6. 병천지점의 각 모형별
홍수유출수문곡선의 비교(96.6.24)

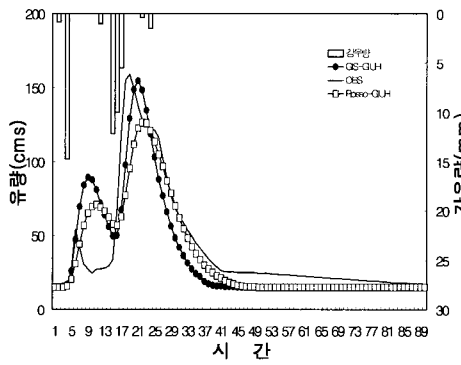


그림 7. 효령지점의 각 모형별
홍수유출수문곡선의 비교(90.7.18)

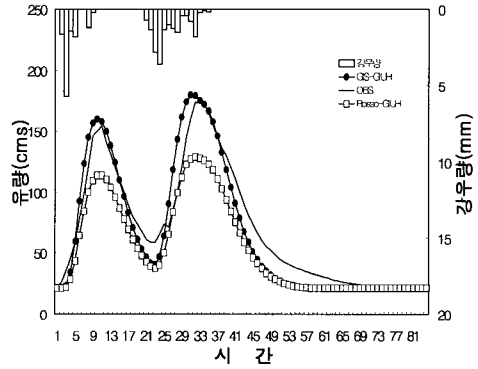


그림 8. 무성지점의 각 모형별
홍수유출수문곡선의 비교(86.7.21)

표 3. 각 지점별 첨두유량 및 첨두시간의 비교

지점	호우사상	첨두유량(cms)			첨두시간(hr)		
		OBS.	GIS-GIUH	Rosso-GIUH	OBS.	GIS-GIUH	Rosso-GIUH
동곡	86. 7. 21	28.87	30.43	33.22	12	12	12
	89. 7. 11	14.95	15.06	18.39	8	8	8
	90. 7. 18	24.00	23.28	25.44	18	18	18
	96. 6. 24	49.30	49.77	52.53	13	13	13
	97. 5. 12	14.81	16.28	18.86	14	14	14
고로	86. 7. 21	56.75	56.40	41.78	12	13	15
	89. 7. 11	40.88	41.41	38.15	8	10	10
	90. 7. 18	93.32	94.73	69.79	21	21	23
	96. 6. 24	176.00	170.49	143.24	14	14	17
	97. 5. 12	35.35	35.40	27.79	15	15	16
미성	86. 7. 21	89.78	90.03	57.19	13	14	18
	89. 7. 11	68.18	66.87	57.17	10	11	16
	90. 7. 18	194.99	193.30	113.96	21	22	25
	96. 6. 24	328.00	329.08	245.12	15	16	21
	97. 5. 12	91.01	91.80	53.69	14	14	20

표 3. 각 지점별 침투유량 및 침투시간의 비교(계속)

지점	호우사상	침투유량(cms)			침투시간(hr)		
		OBS.	GIS-GIUH	Rosso-GIUH	OBS.	GIS-GIUH	Rosso-GIUH
병천	86. 7. 21	134.94	135.61	72.30	14	14	21
	89. 7. 11	113.13	115.84	96.26	28	29	40
	90. 7. 18	312.25	329.47	221.50	20	22	27
	96. 6. 24	1112.00	1082.81	728.80	15	18	25
	97. 5. 12	292.76	261.59	131.61	16	17	22
효령	86. 7. 21	68.67	69.02	59.05	12	11	12
	89. 7. 11	58.38	58.66	56.90	29	30	32
	90. 7. 18	159.24	154.38	126.49	20	21	21
	96. 6. 24	60.00	58.72	48.52	11	11	12
	97. 5. 12	111.13	102.99	88.61	15	15	16
무성	86. 7. 21	182.62	188.71	75.60	15	13	24
	89. 7. 11	174.08	193.98	141.49	33	33	34
	90. 7. 18	471.71	434.39	212.52	19	21	25
	96. 6. 24	1150.00	1122.11	574.32	15	16	27
	97. 5. 12	296.11	297.79	117.83	14	14	25

표 4. 주요호우별 각 모형의 검정결과의 비교

지점	호우사상	모형	검정결과			지점	호우사상	모형	검정결과		
			ME	MSE	Bias				ME	MSE	Bias
동곡	86. 7. 21	GIS-GIUH	0.950	2.772	1.360	고로	86. 7. 21	GIS-GIUH	0.872	6.448	2.701
		Rosso-GIUH	0.837	3.343	1.868			Rosso-GIUH	0.626	11.049	3.124
	89. 7. 11	GIS-GIUH	0.849	1.521	0.007		89. 7. 11	GIS-GIUH	0.850	4.552	0.948
		Rosso-GIUH	0.813	1.686	0.038			Rosso-GIUH	0.563	7.763	-1.938
	90. 7. 18	GIS-GIUH	0.743	1.668	0.716		90. 7. 18	GIS-GIUH	0.889	6.777	3.854
		Rosso-GIUH	0.623	2.021	0.725			Rosso-GIUH	0.794	8.977	3.901
	96. 6. 24	GIS-GIUH	0.806	6.245	8.966		96. 6. 24	GIS-GIUH	0.885	18.094	13.496
		Rosso-GIUH	0.669	8.033	9.118			Rosso-GIUH	0.855	20.347	15.996
	97. 5. 12	GIS-GIUH	0.822	1.584	1.055		97. 5. 12	GIS-GIUH	0.778	5.624	4.564
		Rosso-GIUH	0.745	1.726	1.064			Rosso-GIUH	0.625	7.354	6.983
미성	86. 7. 21	GIS-GIUH	0.929	7.124	2.320	병천	86. 7. 21	GIS-GIUH	0.980	5.947	0.937
		Rosso-GIUH	0.203	23.810	6.741			Rosso-GIUH	0.114	39.933	5.471
	89. 7. 11	GIS-GIUH	0.922	5.559	-1.360		89. 7. 11	GIS-GIUH	0.817	13.703	-2.634
		Rosso-GIUH	0.262	17.315	-5.911			Rosso-GIUH	0.152	29.856	-9.361
	90. 7. 18	GIS-GIUH	0.906	14.955	2.905		90. 7. 18	GIS-GIUH	0.680	41.782	-8.503
		Rosso-GIUH	0.609	30.450	6.283			Rosso-GIUH	0.137	69.534	-16.859
	96. 6. 24	GIS-GIUH	0.948	23.295	10.011		96. 6. 24	GIS-GIUH	0.618	210.450	-44.992
		Rosso-GIUH	0.584	64.539	32.748			Rosso-GIUH	0.199	372.667	-48.189
	97. 5. 12	GIS-GIUH	0.918	5.630	3.180		97. 5. 12	GIS-GIUH	0.928	19.212	2.580
		Rosso-GIUH	0.624	12.580	9.870			Rosso-GIUH	0.224	62.691	3.554
효령	86. 7. 21	GIS-GIUH	0.825	7.312	5.994	무성	86. 7. 21	GIS-GIUH	0.911	16.432	12.210
		Rosso-GIUH	0.766	9.125	6.789			Rosso-GIUH	0.136	51.692	16.538
	89. 7. 11	GIS-GIUH	0.946	3.582	1.352		89. 7. 11	GIS-GIUH	0.929	12.742	2.092
		Rosso-GIUH	0.758	7.987	-2.443			Rosso-GIUH	0.159	44.709	-9.992
	90. 7. 18	GIS-GIUH	0.786	18.102	4.224		90. 7. 18	GIS-GIUH	0.804	50.233	8.381
		Rosso-GIUH	0.760	19.057	4.897			Rosso-GIUH	0.183	102.258	9.574
	96. 6. 24	GIS-GIUH	0.960	3.162	0.294		96. 6. 24	GIS-GIUH	0.859	134.969	9.965
		Rosso-GIUH	0.908	4.593	0.587			Rosso-GIUH	0.156	386.378	13.968
	97. 5. 12	GIS-GIUH	0.789	13.206	-1.796		97. 5. 12	GIS-GIUH	0.863	54.308	8.516
		Rosso-GIUH	0.585	18.466	-2.295			Rosso-GIUH	0.160	146.259	9.632

ME), 절대오차의 평균(Mean Square Error : MSE), 상대오차의 평균을 나타내는 Bias를 계산한 검증결과는 표 4와 같고, 수문곡선의 형상을 검토하였다. 비교결과 GIS-GIUH 모형은 6개 지점 모두에서 우수한 결과를 나타내고 있었으며, Rosso-GIUH 모형은 동곡, 고로지점의 경우에는 우수한 결과를 보이고 있으나, 미성, 병천, 효령, 무성 지점의 경우에는 실측치와 큰 차이를 나타내고 있어 산지소유역의 경우에 적용성이 높은 것으로 판단되었다.

5. 결 론

본 연구는 미계측유역이나 자료가 결핍된 유역에서 지리정보시스템을 이용한 지형특성의 분석으로부터 신속하고 정확한 유출해석을 실시하고자, 낙동강 위천대 표유역의 6개 지점(동곡, 고로, 미성, 병천, 효령, 무성)을 대상으로 GIS-GIUH 모형과 Rosso-GIUH 모형의 매개변수를 사용하여 계산한 유출수문곡선과 실측유출수문곡선을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) GIUH 모형을 적용하기 위하여 필요한 지형학적 특성을 지리정보시스템을 이용하여 기존의 방법보다 손쉽고 편리하게 산정할 수 있었으며, GIS-GIUH 모형과 Rosso-GIUH 모형의 적용결과를 실측유출수문곡선과 비교해 본 결과 GIS-GIUH 모형이 6개지점 모두에서 실측유출수문곡선과 일치하여 우수한 결과를 보이고 있었다.
- 2) Rosso-GIUH 모형의 경우는 유역면적이 작은 동곡, 고로지점에서는 우수한 결과를 보였으나 유역면적이 증가한 미성, 병천, 효령, 무성지점에 대해서는 침투치와 침투발생시간이 상당한 차이를 보이고 있어 유역면적이 대략 100 km² 이하인 산지소유역의 경우에 적용성이 높다고 판단되었다.

따라서, 본 연구에서 제시한 GIS-GIUH 모형은 Rosso-GIUH 모형이 가진 문제점으로 유역면적이 증가하면 간선차수의 유로연장이 길어져 K 값이 증가해서 수문곡선이 평탄해져 침투유량과 침투발생시간을 재현하지 못하는 문제점을 식(15)을 제안하여 해결할 수 있었다.

참 고 문 헌

- 김경탁(1998). "GIS 적용에 따른 유출응답에 관한 연구", 박사학위논문, 인하대학교
- 김상현·한건연(1996). "지리정보시스템을 이용한 유역에서의 지형지수 산정", 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제29권 제4호, pp. 199~208.
- 박종권(1987). "지형인자를 고려한 하천유출량 산정에 관한 연구(GIUH 모델을 중심으로)", 석사학위논문, 영남대학교
- 신사철(1996). "분포형 강우-유출모형에 의한 유출해석", 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제29권 제6호, pp. 131~139.
- 엄무섭(1991). "지리정보시스템을 원용한 Kinematic 모형의 적용", 석사학위논문, 서울대학교.
- 이범희(1998). "지리정보체계 및 전문가시스템을 이용한 도시유출 및 수질모형의 개발", 박사학위논문, 서울대학교.
- 조홍제, 이상배(1990). "하도망의 기하학적 특성을 이용한 지형학적 순간단위도의 해석", 한국수문학회논문집, 한국수문학회, 제23권 제1호, pp. 89~98.
- 함창학(1996). "지리정보시스템을 이용한 수문지형정보 추출에 관한 기초적 연구", 박사학위논문, 충북대학교.
- 홍일표(1998). "하천의 프랙탈 특성을 고려한 지형학적 순간단위도의 개발", 박사학위논문, 건국대학교.
- David, A.E(1994). "A geographic information system procedure to quantify drainage basin characteristics", *Water Resources Bull.*, Vol. 30, No. 1, pp. 1~8.
- Franchini Marco and O'Connell P. Enda(1996). "An analysis of the dynamic component of the geomorphologic instantaneous unit hydrograph", *Journal of Hydrology*, vol 175, pp. 407~428.
- Gupta, V.K, Waymire, E and Wang, C.T(1980). "Representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology", *Water Resour. Res.*, Vol. 16, No. 5, pp. 855~862.
- James, J.M., and David, A.E.(1991). *An automated method to quantify physical basin char-*

- acteristic*, USGS Water Resources Invest. Report 91-4034, pp. 558~561.
- Jenson, S.K., and Domingue, J.O.(1988). "Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol 54, No. 11, pp. 1593~1600.
- Lawrence, E.B.(1986). "Topographic partition of watershed with digital elevation model", *Water Resources Res.*, Vol 22, No. 1, pp. 15~24.
- Peucker, T.K., Fowler, R.J., Little, J.J, and Mark, D.M.(1978). "The triangulated irregular network" *Proceed of the ASP digital terrain models symposium*, American Society of Photogrammetry, Virginia, pp. 516~540.
- Rodriguez-Iturbe, I and Valdes, J.B.(1979). "The geomorphological structure of hydrologic response", *Water Resour. Res.*, Vol 15, No 6, pp. 1409~1420.
- Rodriguez-Iturbe, I., Devoto, G and Valdes, J.B. (1979). "Discharge response analysis and hydrologic similarity : the interrelation between the geomorphological IUH and storm characteristics", *Water Resour. Res.*, Vol 15, No. 6, pp. 1435~1444.
- Rodriguez-Iturbe, I., Rinaldo A.(1997). *Fractal river basins*, Cambridge University Press, New York, pp 468~487.
- Rosso, R.(1984). "Nash model relation to Horton order ratios", *Water Resources Res.*, vol 20, No. 7, pp. 914~920.

(논문번호:02-26/접수:2002.5.1/심사완료:2002.06.3)