

# 지형학적 순간단위도(GIUH)에 의한 강우-유출해석

## A Study on Rainfall-Runoff Analysis by Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph(GIUH)

최 흥 식\* / 박 정 수\*\* / 문 형 근\*\*\*  
Choi, Hung Sik / Park, Chung Soo / Moon, Hyung Geun

### Abstract

Rainfall-runoff characteristics are analysed based on the geomorphological instantaneous unit hydrograph(GIUH) derived by geomorphological parameters using geographical information system in watershed unaged or deficient of field data. Observed data of Seom river experiment watershed at upstream of Hoengseong dam and variable slope method for hydrograph separating of direct runoff are used. The 4th stream order of Seom river experimental watershed is developed with a regular correlation referred to the Horton-Strahler's law of stream order. The characteristic velocity to determine shape parameter of GIUH is 1.0m/s and its equation is modified for accurate results. Hydrograph at the outlet of 4th stream order of Maeil gage station and at the outlets of 3rd stream order of Sogun and Nonggeori gage stations show a little differences in falling limb of hydrograph but agree well to the observed data in general. The results by hydrological routing with HEC-HMS to the outlet of 4th stream order of Maeil gage station which the hydrograph by GIUH obtained at Sogun and Nonggeori gage stations of 3rd stream order are applied as upstream inputs give better agreement with observed data than those by hydrograph by GIUH obtained at Maeil gage station of 4th stream order. In general, the rainfall-runoff by GIUH has applicability to the watershed routing of unaged project regions.

**key words** : Experimental Watershed, GIUH, Geomorphological order ratio, Characteristic velocity

### 요 지

본 연구는 미계측이나 자료가 결핍된 유역에서 지리정보시스템을 이용하여 유역의 지형학적 매개변수를 얻어 유도된 지형학적 순간단위유량도에 의한 강우-유출의 특성을 분석하였다. 횡성댐 상류 섬강시험유역에서 얻어진 실측자료를 사용하였고, 직접유출을 분석하기 위하여 가변기울기법을 이용하였다. 아울러 4차 하천유역인 섬강시험유역은 Horton-Strahler의 차수법칙에 따라 일정한 규칙을 가지고 발달한 수계임을 확인하였다. GIUH의 사용에 따른 섬강시험유역의 규모계수 결정식의 변형을 하였고, 유출특성속도는 1.0m/s으로 나타났다. 4차 하천유역인 섬강시험유역의 출구인 매일교수위국과 3차 하천유역의 출구인 소군교와 농거리교수위국에서의 GIUH에 의한 수문곡선은 침투시간이후의 유역의 저류능에서 약간의 차이를 보이나, 실측값과의 비교에서 잘 일치하였다. 아울러 유역을 보다 세분화하여 적용한 GIUH모형에 의한 수문곡선을 상류유입수문곡선으로 하여 HEC-HMS를 이용하여 수문 추적한 결과가 전체유역을 대상으로 한 GIUH모형에 의한 수문곡선보다 실측치에 잘 일치하였다.

\* 정희원 · 상지대학교 건설시스템공학과 교수 (e-mail : hsikchoi@sangji.ac.kr)

\*\* 상지대학교 건설시스템공학과 석사

\*\*\* 동부 엔지니어링 상무

전반적으로 GIUH에 의한 강우-유출해석은 미계측 유역에 사용성이 있는 것으로 평가된다.

**핵심용어** : 시험유역, GIUH, 지형학적차수, 특성속도

## 1. 서론

하천유역에서 강우-유출을 해석할 때에는 적용이 용이하고 비교적 정확한 결과를 얻는 것으로 알려진 단위도와 순간단위도를 널리 사용하여 왔다. 순간단위도의 유도를 위해서는 신뢰성 있는 강우-유출자료의 획득이 선행되어야하나, 용이하지 않다. 미계측 유역에서 공간적 변화성을 추정하는 지형학적인자는 강우-유출의 수문학적 거동을 이해하는데 이용되고 있다. 즉, 유역의 동적특성과 하천 차수법칙을 고려하여 유도된 지형학적 순간단위도는 지형학적 인자로 구성된 수문학적 응답모형으로서 미계측 중소 하천유역의 유출 해석을 가능하게하고 실제 유역에 더욱 근접한 물리적 과정을 나타낼 수 있다.

지금까지 유출해석을 위한 국내외의 많은 연구가 진행된 바 있으나 최근에는 GIS(geographical information system)의 발달로 하천유역의 공간적 특성자료를 이용한 유출해석이 활발히 진행되고 있는 실정이다. 유역의 공간특성자료를 이용한 강우-유출 해석에 관한 국외의 연구사례로는 Rodriguez-Iturbe 등(1979)에 의한 순간단위도를 제안한 연구와 Gupta 등(1980)과 Rosso(1984)에 의한 지형특성인자로부터 순간단위도의 유도 등에 관한 연구가 진행된 바 있다. 국내의 연구로는 이정식 등(1987)과 김상단 등(2000)은 특성속도에 대한 고찰로 기존의 식과의 상관을 분석하였으며, 조홍제 등(1990)은 GIUH의 2변수 감마밀도 함수의 매개변수에 대한 수정을 통해 좋은 결과를 얻었다. 허창완 등(2002)은 지형학적 하천차수를 이용한 지형학적 법칙에 근거한 GIUH의 적용성을 평가하였다. 즉 유역에서 강우-유출 구조에 의한 추계학적 정의에 의한 유출구조를 지형학적 매개변수를 이용하여 적용성을 검증하였다.

본 연구에서는 횡성댐 상류 섬강 시험유역을 대상으로 지형형태학적 순간단위도를 이용하여 유역의 강우-유출을 모의하였고, 이를 관측된 값과 비교하여 미계측유역의 적용성 여부를 검토구축 적용하였다. 대상 유역의 하상지형인자 및 지형형태학적 특성은 Arc-View를 이용하여 구하였으며, 이를 지형도에서의 결과와 비교 검토해 보았다. Horton-Strahler의 하천 차수 법칙을 이용하여 배수유역의 지형학적 구조를 검토 분석하고, 지형학적 순간단위도 개념을 도입하여 미계측 유역에서도 적용할 수 있는 유출모형을

확립하는데 그 목적이 있다.

아울러 유역을 세분하여 순간단위유량도에 의한 세부유역의 강우-유출 결과를 유입수문곡선으로 하여 HEC-HMS에 의한 하도추적의 결과를 분석하여 지형학적 순간단위유량도의 적용성을 개선하였다.

## 2. 수문지형학의 기본법칙

### 2.1 하천차수의 지형학적 법칙

하천차수의 결정은 Horton(1945)의 이론을 Strahler(1957)가 수정한 방법이 가장 많이 쓰이고, 이는 유원(source)에서 시작하는 하천을 1차 하천으로 하고, 같은 차수의 하천이 만나서 다른 하천을 이룰 경우에만 차수가 증가하고 차수가 서로 다를 경우는 차수가 높은 하천의 차수를 유지하는 하천차수 결정방법이다. 하천차수와 관계식은 하천차수 법칙(the law of stream order), 평균하천길이 법칙(the law of stream length), 평균하천경사 법칙(the law of stream slope)과 Schumm(1956)에 의해 제안된 유역면적 법칙(the law of drainage area)으로 관계식은 아래와 같다. 이에 관한 국내 최근 연구로 이정식 등(1987)은 지형학적 인자를 이용하여 지형학적 단위 수문곡선을 해석하고, 전민우와 조원철(1992)은 지형학적 인자와 프랙탈 차원의 특성을 정리하였다.

$$N_u = R_b^{\omega - u} \quad (1)$$

$$L_u = L_1 R_l^{u-1} \quad (2)$$

$$S_u = S_1 R_s^{u-1} \quad (3)$$

$$A_u = A_1 R_a^{u-1} \quad (4)$$

여기서,  $N_u$ ,  $L_u$ ,  $S_u$  및  $A_u$  는 각각  $u$ 차 하천의 개수, 평균수로길이, 평균수로경사, 및 유역면적이다.  $\omega$  는 유역내 하천의 최고차수이고,  $R_b$ ,  $R_l$ ,  $R_s$  및  $R_a$  는 각각 하천 분기율(bifurcation ratio), 하천길이비(stream length ratio), 하천 함몰도(stream concavity) 및 유역 면적비(stream area ratio)로 (5)~(8)식과 같다.

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad (5)$$

$$R_l = \frac{L_u}{L_{u-1}} \quad (6)$$

$$R_s = \frac{S_u}{S_{u+1}} \frac{Y_u/L_u}{Y_{u+1}/L_{u-1}} \quad (7)$$

$$R_a = \frac{A_u}{A_{u-1}} \quad (8)$$

여기서  $Y_u$ 는  $u$ 차 하천의 평균 표고차이다. 이와 같은 하천지형법칙은 유역의 토질상태, 지형, 지세 등

의 지질학적 특성과 기상인자에 의해 다양한 형태로 발달된 하천수계에 대해 적용 가능하다. 횡성댐 상류 섬강시험유역 수계에 대한 앞서의 식을 적용하기 위해 1 : 25,000 지형도(그림 1)를 사용하였다. 하천유역의 구분은 크게 매일수위국을 출구로 하는 4차하천 유역과 농거리와 소군교수위국을 출구로 하는 2개의 3차하천 유역으로 구분하여 유역의 지형학적 특성을 정리하여 하천차수와 그에 따른 하천수, 평균하천길이, 평균하천경사 및 평균유역면적은 표 1에서와 같다. 이들 관계를 반대수지에 표시하면 그림 2와 같이 하천차수에 따른 하천수, 평균하천길이, 평균하천경사 및 평균유역면적은 직선적 관계로 나타나, Horton-Strahler의 차수법칙에 따라 일정한 규칙성을 가지고 발달된 수계임을 볼 수 있다.

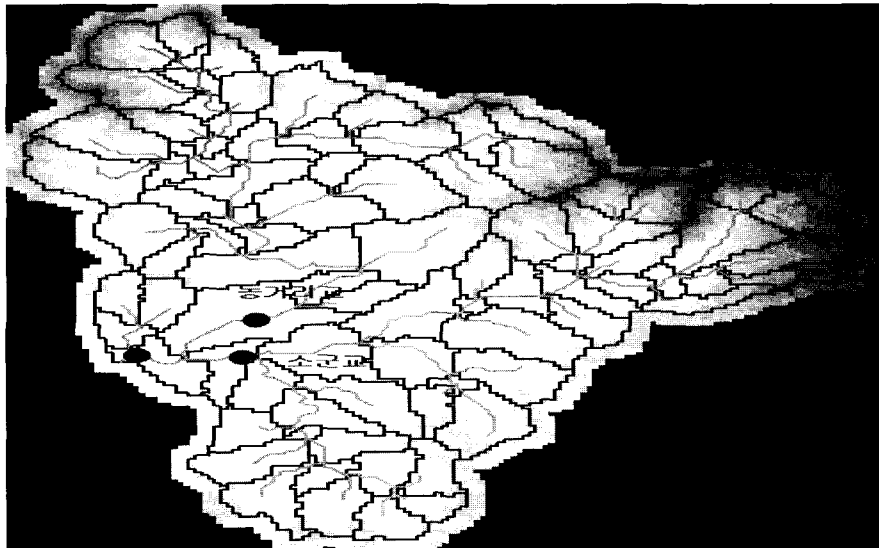
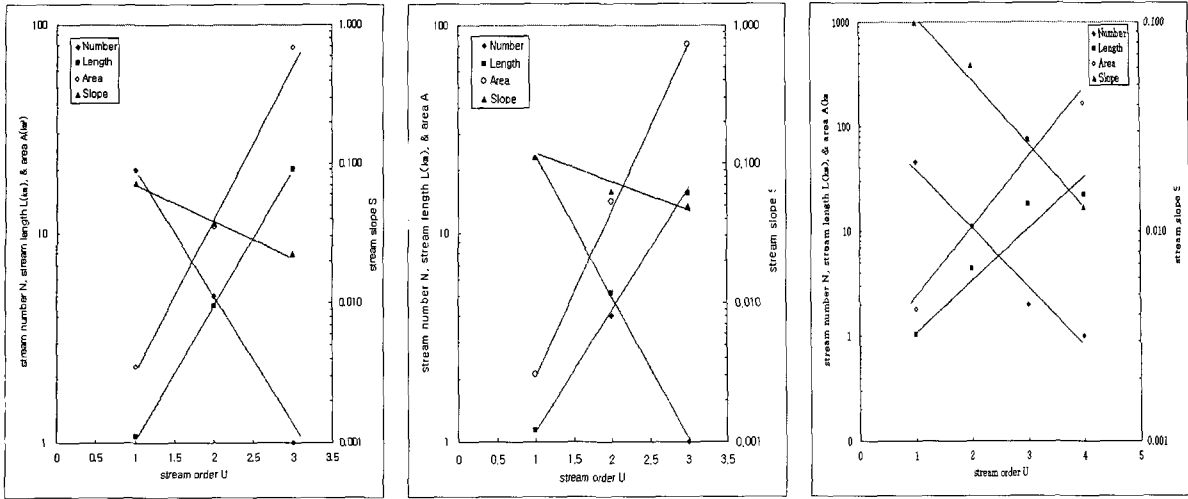


그림 1. Arc-View를 이용한 유역 및 유로의 구분

표 1. 섬강시험유역의 하상지형인자

하천차수(차)		1	2	3	4
하천개수 N(개)	매일교	45	11	2	1
	농거리교	20	5	1	-
	소군교	23	4	1	-
평균유로연장 L(km)	매일교	1.04	4.33	17.93	22.17
	농거리교	1.08	4.48	20.21	-
	소군교	1.13	5.17	15.55	-
평균유로경사 S	매일교	0.10	0.06	0.03	0.01
	농거리교	0.07	0.04	0.02	-
	소군교	0.11	0.06	0.05	-
평균유역면적 A(km <sup>2</sup> )	매일교	1.79	10.99	75.13	164.85
	농거리교	2.29	10.72	77.57	-
	소군교	2.11	14.17	81.31	-



(a) 농거리교 수위국                      (b) 소군교 수위국                      (c) 매일 수위국  
**그림 2. Horton-Strahler 차수법칙에 따른 지형학적 관계식**

**표 2. 섬강시험유역의 지형형태학적 특성**

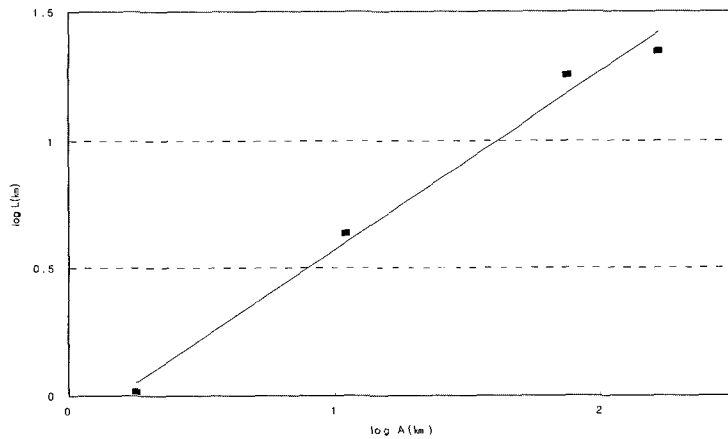
구분	분기율	하천연장비	하천함몰도	유역면적비
매일교	3.72	2.88	2.00	4.57
농거리교	4.47	3.21	1.79	5.42
소군교	4.79	3.35	1.49	5.68

일반적으로 분기율은 3에서 5사이의 값을 가지며, 하천길이비는 일반적으로 1.5에서 3.5사이의 값이고, 하천면적비는 일반적으로 3과 6사이의 값이다 (Eagleson, 1970). 표 2는 시험유역의 지형학적 특성을 나타내는 매개변수이다.

### 2.2 하천연장과 유역면적

Schumm(1956)에 의해 제안된 유역면적 법칙과 더불어 분류부 연장과 유역면적과의 관계식은  $L = aA^b$ 와같이 표현된다. Mandelbrot(1982)는 이

관계식을 설명하면서 프랙탈이론 관계식을 수문지형학에 적용을 처음 제안하기도 하였다. 이때 a 및 b는 회귀분석을 통해 구하는 계수로 섬강 시험유역에서는  $L = 0.75A^{0.70}$ 이다(그림 3). 일반적으로 b의 값은 아주 큰 유역을 제외하고 0.5이상의 값을 가지게 되어 유역의 형상은 면적이 커짐에 따라서 더욱 길쭉한 모양을 갖는 것으로 추정된다(고영찬, 1996). 참고로 대전의 갑천수계는 a=1.33, b=0.62(안상진 등, 1997), 원주천은 a=8.38, b=0.92(최홍식, 1997)로 a의 값이 다소 차이가 있음을 알 수 있다.



**그림 3. 하천연장과 유역면적과의 관계(매일수위국)**

### 2.3 GIUH 유도

GIUH 모형은 Rodriguez-Iturbe 등(1979)에 의해 소개되었으며, 그 후 Gupta 등(1980)에 의해 일반화되었다. Markov-Process를 기본형태로 하여 유역의 수문학적 응답인 순간단위도와 지형특성을 접목시켜 유역에 내린 강우 입자들에 대한 유역출구에서의 도달시간 분포를 추계학적으로 정의하여 GIUH를 제안하였다. GIUH는 하도망에서 강우입자의 움직임을 시-공간적으로 해석함으로써 구할 수 있는데 유역의 하천차수  $\Omega$ 에 따른 유역출구로의 이동경로에 대한 천이확률을 유역의 지형학적 인자의 함수로 표시하였다. 이러한 과정에 의한 침투유량과 침투시간은 Rosso(1984)가 Horton의 차수비의 함수를 이용한 것으로 (9)~(10)식과 같다.

$$T_p = 1.584 \frac{L(\Omega)}{V} \left( \frac{R_B}{R_A} \right)^{0.55} R_L^{-0.38} \quad (9)$$

$$Q_p = \frac{0.364 V}{L(\Omega) R_L^{0.43}} \quad (10)$$

여기서,  $L(\Omega)$ 는 간선차수의 유로연장이다.  $V$ (m/s)는 유역내의 도달시간에 대한 특성속도이다. 유효강우에 의한 직접유출을 나타내는 순간단위도는 2변수 감마확률밀도함수로 식(11)과 같다(Rosso, 1984).

$$f(t) = \frac{1}{K\Gamma(N)} \left( \frac{t}{K} \right)^{N-1} e^{-\frac{t}{K}} \quad (11)$$

$f(t)$ 는 유역의 순간반응함수(impulse response function)이고,  $\Gamma(N)$ 는 Gamma함수이고  $t$ 는 시간이다. 또한  $N$ 은 형상(shape)계수이고,  $K$ 는 규모(scale)계수로 다음과 같다.

$$N = 3.29 (R_B/R_A)^{0.78} R_L^{0.07} \quad (12)$$

$$K = 0.70 (R_A/R_B R_L)^{0.48} V^{-1} L(\Omega) \quad (13)$$

## 3. 강우-유출 모형의 적용 및 분석

### 3.1 GIUH의 적용

미계측유역의 지형학적 순간단위유량도를 유도하기 위해 필요한 매개변수는 특성속도, 유역의 지형학적

인자인 길이비, 면적비, 분기비와 간선차수의 유로연장이 필요하다. 이들 관계를 바탕으로 한 회귀식에 의해 형상계수  $N$ 과 규모계수  $K$ 가 얻어지고, 이를 이용한 직접유출 수문곡선의 형태를 얻을 수 있다. Boyd(1978)는 Nash 모형의 매개변수와 유역특성인자의 회귀분석을 통해  $N$ 값은 유역에 따라 크게 변하지 않을 뿐 아니라 유역특성인자와의 관계가 약한 반면,  $K$ 값은 유역규모에 따라 일정한 성향으로 증가하는 변동성이 있음을 밝힌 바 있다. 그러므로  $K$ 값을 유역의 유출특성속도를 변화시키며 지형학적 순간단위유량도의 특성을 비교해보았다.

그림 4는 농거리, 소군교와 매일 수위국에서 적절한  $K$ 값의 결정에 의한 GIUH 모형의 검정을 위해 유출특성속도를 0.9부터 2.5까지 증가시키면서 비교·검토했고, 특성속도의 값이 커지면 커질수록 단위도의 중거가 커지고, 유출이 빨라지는 것을 볼 수 있다.

### 3.2 유출결과 해석

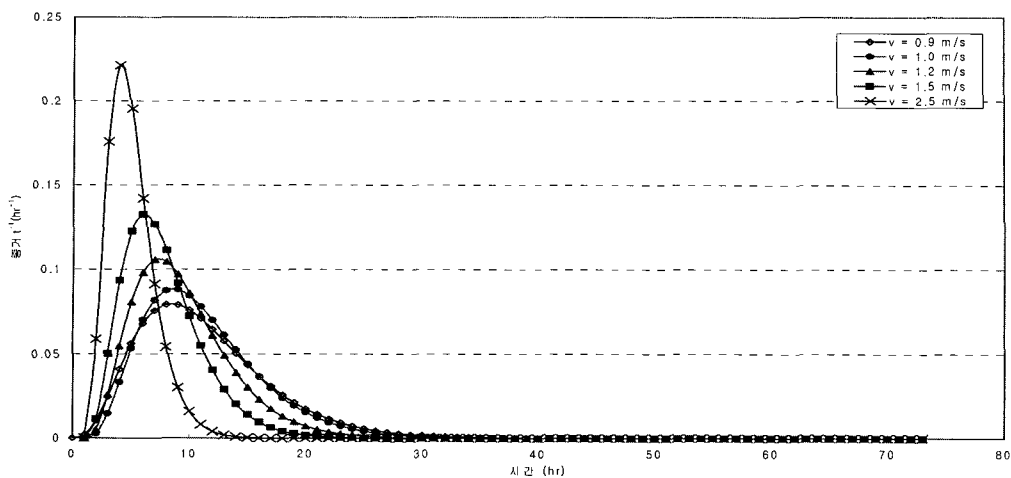
GIUH 해석에 따른 섬강시험유역의 적절한 유출 특성의 분석을 위해서 2003년 8월 20일 호우에 대하여 식(11)을 이용한 유출해석결과를 실측치와 비교·검토 해보았다. 직접유출의 분리는 가변기울기법(variable slope method)를 사용하였다. 전반적으로 강우에 의한 직접유출이 끝난 이후의 상승된 지하수위에 의한 중간유출이 증가로 실측유량이 수문곡선하강부분에서 크게 나타났다. 그림 5는 유역내 유출특성속도를  $V=1.0$ m/s에 의한 수치모의와 실측 수문곡선을 나타낸 것으로 비교적 잘 일치하여, 이를 유출특성속도로 선정하였다. 김상단 등(2000)에 의한 낙동강 대표유역인 위천내의 추정된 특성속도는 1.0m/s이하로 나타났다. 보다 정확한 GIUH의 해석을 위해 같은 해 6월과 8월의 자료를 이용하여 해석하였다.

규모계수  $K$ 는 유역의 저류특성을 지배하는 값으로 이 값의 증가는 수문곡선의 상승부와 하강부의 지체현상을 가져온다. 따라서 수문곡선 하강부의 유역저류효과를 보다 잘 재현하기 위해서 식(11)의 규모계수 결정상수 0.70을 0.72로 변경하여 해석하였다. 비교결과 규모계수의 상수 0.72가 본 유역에 적합하다는 것을 알 수 있다. 아울러 허창완 등(2002)이 IHP 대표유역인 위천에 적용한 식의 적용결과는 침투유량에 상대적으로 크고 저류효과가 작게 나타났다.

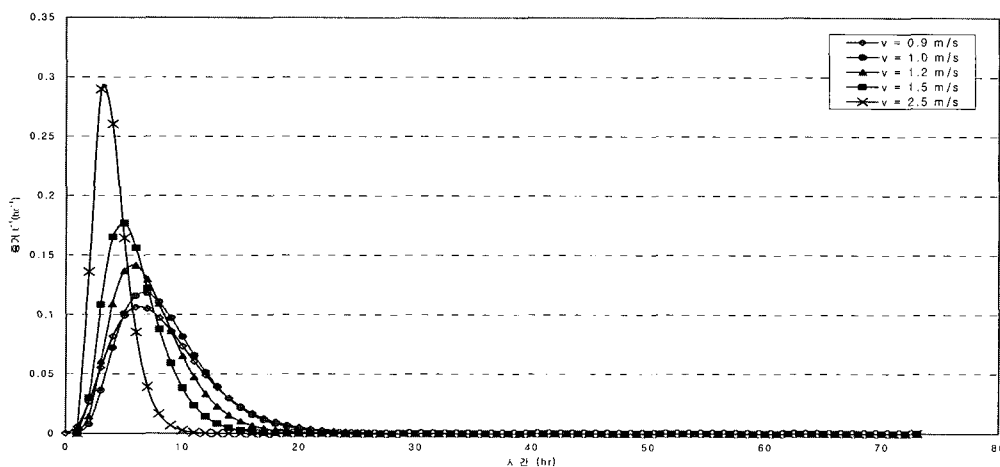
GIUH모형의 사용성을 분석하기 위하여 상류수위국인 소군교와 농거리교에서의 지형학적특성을 기초로 한 GIUH를 각각 해석하여 수문학적 추적(HEC-HMS)을 실시한 결과와 비교·분석을 실시하

였다. 그림 6과 7은 2003년 6월 27일 호우와 2003년 8월 6일 호우에 대해서 지형학적 순간단위도에 의

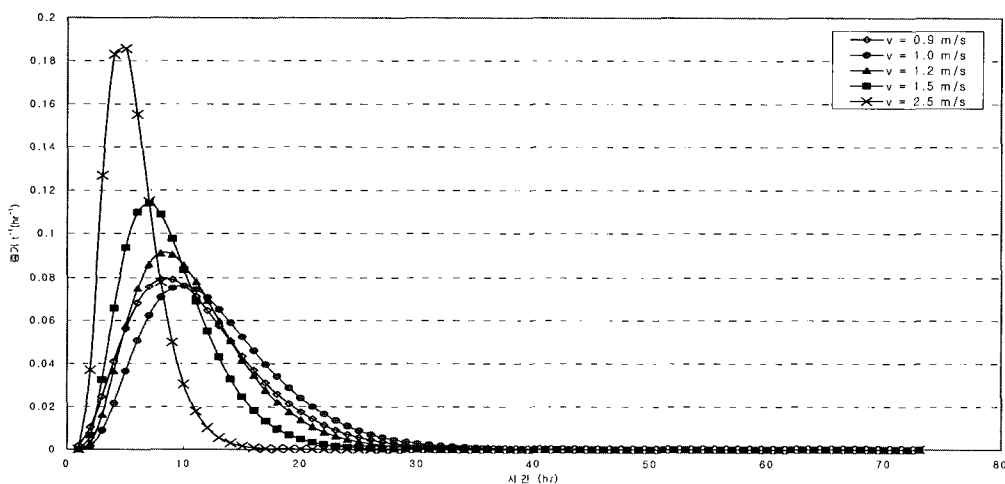
한 유출해석결과와 실측치를 비교·검토 한 것으로 실측치와 잘 일치하였다.



(a) 농거리교 수위국



(b) 소군교 수위국



(c) 매일 수위국

그림 4. 매일, 농거리, 소군 특성속도별 GIUH

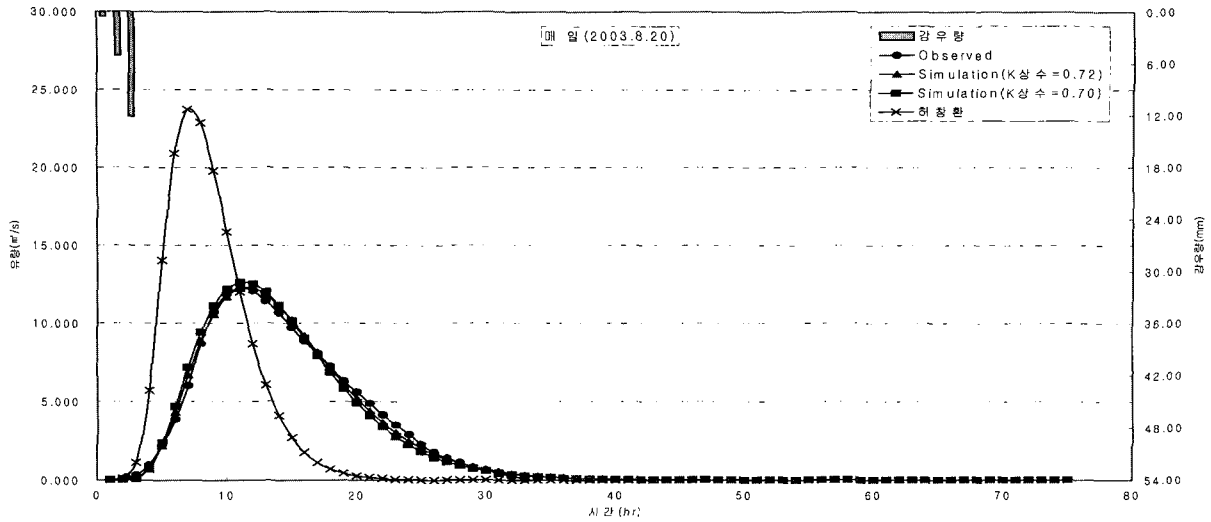
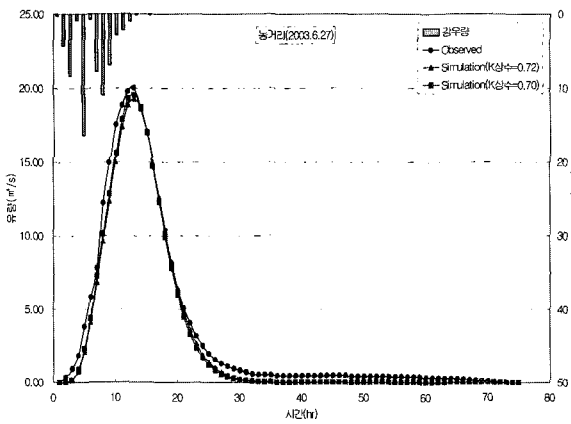
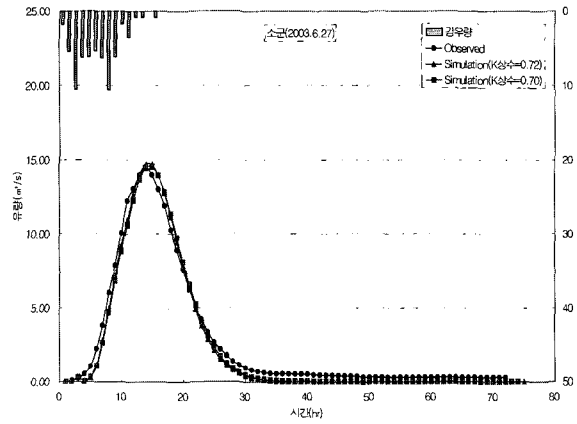


그림 5. 매일수위국에서 GIUH에 의한 수문곡선과 실측치와의 비교(2003.8.20)

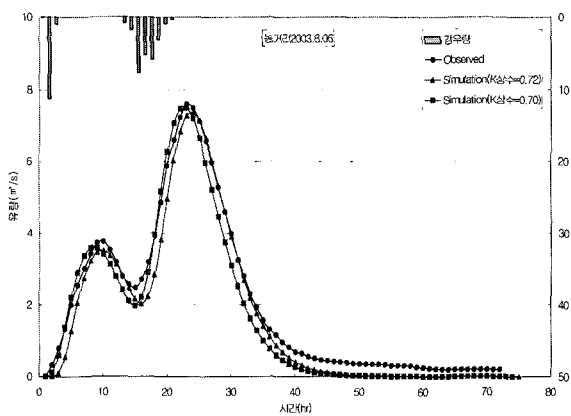


(a) 농거리교

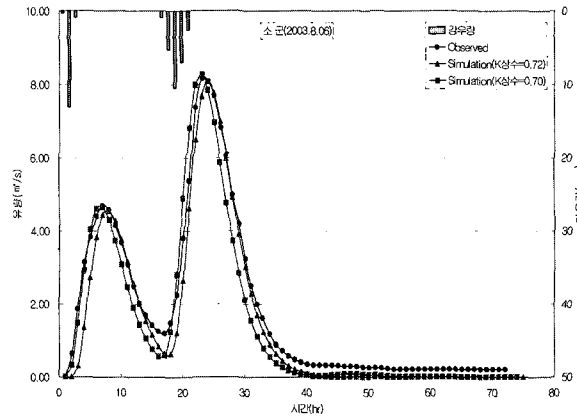


(b) 소군교

그림 6. 농거리교와 소군교 수위관측소의 GIUH에 의한 수문곡선과 실측치와의 비교(2003.06.27)



(a) 농거리교



(b) 소군교

그림 7. 농거리교와 소군교 수위관측소의 GIUH에 의한 수문곡선과 실측치와의 비교(2003.08.06)

침투시간 이후의 유역의 저류능력을 나타내는 하강곡선부에서 실측값과 모의값과의 차이를 개선하기 위해서 3차 하천유역인 농거리교와 소군교 수위관측지점에서 얻어진 지형학적특성인자를 사용한 GIUH에 의한 수문곡선을 상류유입 수문곡선으로 하여 수문학적 추적인 HEC-HMS를 이용한 매일수위국에서의 유출 수문곡선을 4차 하천유역인 매일수위국지점에서 얻은 GIUH에 의한 수문곡선과 실측값과의 3가지를 서로 비교하였다. 그림 8과 9는 이 비교의 결과로 3차 하천유역인 농거리교와 소군교 수위관측지점에서 얻어진 지형학적특성인자를 사용한 GIUH에 의한 수문곡선을 상류유입 수문곡선으로 하여 수문학적 추적인 HEC-HMS를 이용한 매일수위국에서

의 유출 수문곡선이 4차 하천유역인 매일수위국지점에서 얻은 GIUH에 의한 수문곡선보다 실측값에 더욱 근사함을 보여주었다. 그에 따른 침투유량과 침투시간의 값은 표 3에서와 같고, 분석한 RMSE는 표 4와 같다.

따라서 유역을 보다 세분화하여 적용한 GIUH모형에 의한 수문곡선을 상류유입수문곡선으로 하여 HEC-HMS를 이용하여 수문추적한 결과가 전체유역을 대상으로 한 GIUH모형에 의한 수문곡선보다 유역의 저류에 의한 중간유출을 잘 재현해 줄 수 있는 것으로 평가되나, GIUH모형의 변형 또는 직접유출의 분리방법의 개선을 통해서 정확도를 개선할 여지는 있을 것으로 판단된다.

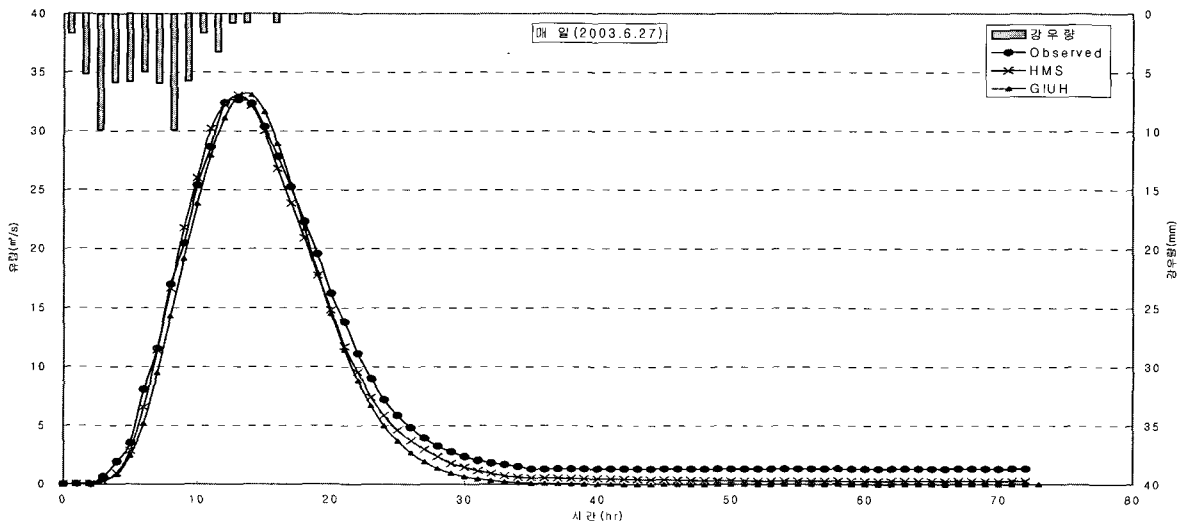


그림 8. GIUH 수문모형과 GIUH와 HEC-HMS적용결과와 실측치와의 비교(2003.6.27)

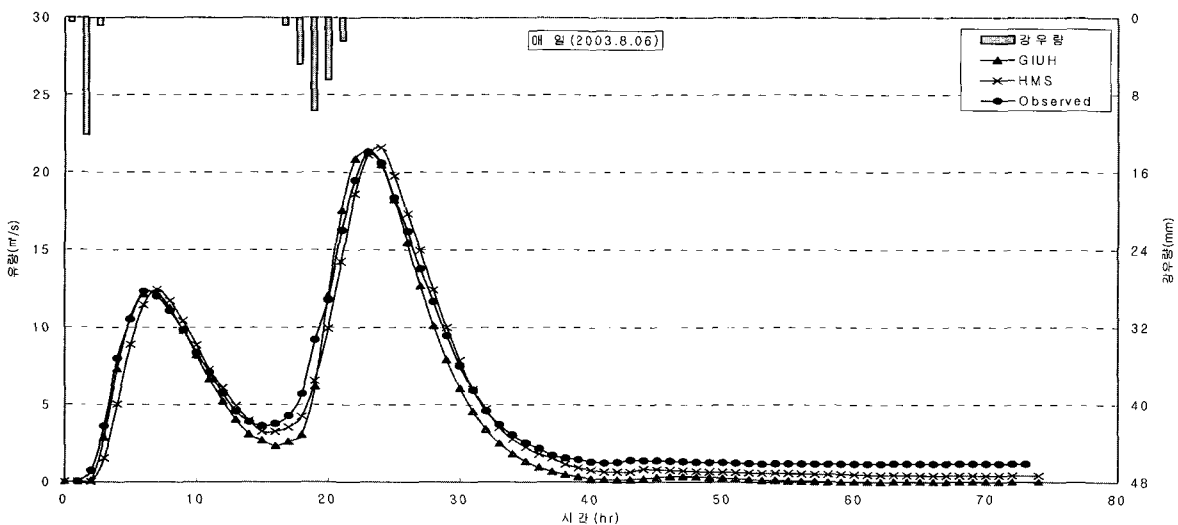


그림 9. GIUH 수문모형과 GIUH와 HEC-HMS적용결과와 실측치와의 비교(2003.8.6)



표 3. 실측 침투홍수 발생시간과 침투유량의 비교

유역명	사상	침투유량 $Q_p$ (cms)			침투시간 $t_p$ (hr)		
		실측	GIUH수문 모형결과	GIUH 수문모형과 HEC-HMS 적용결과	실측	GIUH수문 모형결과	GIUH 수문모형과 HEC-HMS 적용결과
매일교	2003년 6월27일	32.66	32.99	33.05	13	13	13
	2003년 8월06일	21.30	21.32	21.58	22	23	26

표 4. RMSE 오차 분석결과

유역명	사상	방법	RMSE
매일교	6월27일	GIUH수문 모형결과	2.086
		GIUH 수문모형과 HEC-HMS적용결과	1.321
	8월06일	GIUH수문 모형결과	1.124
		GIUH 수문모형과 HEC-HMS적용결과	0.905

#### 4. 결론

본 연구는 미계측이나 자료가 결핍된 유역에서 지리정보시스템을 이용하여 유역의 지형학적 매개변수를 얻어 유도된 지형학적 순간단위유량도에 의한 강우-유출의 특성을 분석하였다. 횡성댐 상류 섬강시험유역에서 얻어진 실측자료를 사용하였고, 직접유출을 분석하기 위하여 가변기울기법을 이용하였다. 아울러 4차 하천유역인 섬강시험유역은 Horton-Strahler의 차수법칙에 따라 일정한 규칙을 가지고 발달한 수계임을 확인하였다.

GIUH의 사용에 따른 섬강시험유역의 규모계수 결정의 유출특성속도는 1.0m/s으로 나타났고, 규모계수 결정을 위한 식의 상수를 0.72로 했을 때 실측자료와 보다 잘 일치하였다. 4차 하천유역인 섬강시험유역의 출구인 매일교수위국과 3차 하천유역의 출구인 소군교와 농거리교 수위국에서의 GIUH에 의한 수문곡선은 실측값과 비교에서 잘 일치하였으나, 침투시간이후의 유역의 저류능력을 나타내는 하강곡선에서 약간의 차이를 보였다. 이의 개선을 위해서 3차 하천유역인 농거리교와 소군교 수위관측지점에서 얻어진 GIUH에 의한 수문곡선을 상류 유입 수문곡선으로 하여 HEC-HMS에 의한 매일수위국까지의 수문학적 추적 결과, 4차 하천유역인 매일수위국의 얻은 GIUH에 의한 수문곡선, 그리고 실측값과의 3가지를 서로 비교한 결과 GIUH 유입수문곡선과 HEC-HMS에 의한 수문

추적결과가 실측값에 더욱 근사함을 보여주었다. 따라서 유역을 보다 세분화하여 적용한 GIUH모형에 의한 수문곡선을 상류유입수문곡선으로 하여 HEC-HMS를 이용하여 수문 추적한 결과가 전체유역을 대상으로 한 GIUH모형에 의한 수문곡선보다 유역의 저류에 의한 중간유출을 잘 재현해 줄 수 있는 것으로 평가되나, GIUH모형의 변형 또는 직접유출의 분리방법의 개선을 통해서 정확도를 개선할 여지는 있을 것으로 판단된다.

전반적으로 GIUH에 의한 강우-유출해석은 실측치와 잘 일치하여 미 계측 유역에 사용성이 있는 것으로 평가된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2002년도 상지대학교 교내연구비 지원에 의한 결과이고, 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적인 확보기술사업단(과제번호 2-1-2)의 자료를 사용하였다.

#### 참고 문헌

- 고영찬 (1996). 하천차수를 고려한 프랙탈 차원의 산정 및 적용. 박사학위논문, 서울대학교.
- 김상단, 유철상, 윤용남 (2000). 지형형태학적 순간단위도의 특성속도에 대한 고찰. 한국수자원학회논문

- 집, 제33권, 제3호, pp. 315-330.
- 안상진, 윤용남, 강관원 (1977). 소하천 수계의 유역 특성에 관한 연구. 한국수문학회지, 제10권, 제1호, pp. 71-77.
- 이정식, 김재한, 이원환 (1987). 지형학적 순간단위도에 의한 참두유량의 강우-유출 선형해석. 대한토목학회논문집, 제7권, 제1호, pp. 55-64.
- 전민우, 조원철 (1992). 지형도 축척에 따르는 하천 수로망과 본류 하천길이에 관한 Fractal Dimension. 대한토목학회논문집, 제12권, 제4-1호, pp. 97-106.
- 조흥제, 이상배 (1990). 수문응답의 지형학적 합성방법에 관한 연구. 대한토목학회 논문집, 제10권, 제1호, pp. 99-108.
- 최홍식 (1997). 원주천의 하천형태학적 및 수리학적 특성연구. 한국수자원학회논문집, 제30권, 제1호, pp. 75-82.
- 허창환, 이순탁 (2002). 하천유역에서 GIS를 이용한 GIUH모형의 해석. 한국수자원학회논문집, 제35권, 제3호, pp. 321-330.
- Boyd, M.J. (1978). A storage-routing relating drainage basin hydrology and geomorphology. *Water Resources Research*, Vol. 14 No. 5, pp. 921-928.
- Eagleson, P.S. (1970). *Dynamic hydrology*. McGraw-Hill, New-York.
- Gupta, V.K., Waymire, E., and Wang, C.T. (1980). Representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology. *Water Resources Research*, Vol.16, No.5, pp. 855-862.
- Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydro-physical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bull.*, Vol. 56, pp. 275-370.
- 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 Resources Research*, Vol. 15, No. 20, pp. 1435-1444.
- Rosso, R. (1984). Nash model relation to Horton order rations. *Water Resources Research*, Vol. 20, No. 7, pp. 914-920.
- Schumm, S.A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in baldlands at Perth Amboy. New Jersey, *Geological Society of American Bull.*, Vol. 67, pp. 597-646.
- Strahler, A.N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of A.G.U.*, Vol. 38, pp. 913-920.

© 논문접수일 : 2005년 11월 10일  
 © 심사의뢰일 : 2005년 11월 15일  
 © 심사완료일 : 2006년 02월 17일