

4차 하천에서의 GIUH의 유도 및 초기확률의 보정에 관한 연구

Study on Derivation of Fourth-Order GIUH and Revision of Initial State Probability

함 대 현* / 주 진 곁** / 전 환 돈*** / 김 중 훈****

Ham, Dae Heon / Joo, Jin Gul / Jun, Hwan Don / Kim, Joong Hoon

Abstract

This study is to derive the fourth-order Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH), driven for only third-order basin, for the application of GIUH to various types of basin. The second, third, and fourth order GIUHs were compared for various topographical conditions. The results showed lower peak runoff and later peak time in GIUH with higher stream order. Initial state probability was estimated from a function of geomorphologic parameters such as area ratio and bifurcation ratio for the application of GIUH. However, initial state probabilities and early parts of the GIUHs have negative values for many basins due to the inherent errors in the parameters. Initial state probability was calculated by area ratio of direct drainage using ArcView GIS 3.2 model to solve the problem. GIUHs were estimated for three basins, Sangamni, Byeongcheon, and Sangye, using the above suggested method, and the results showed that the method is free of the problem.

keywords : GIUH, Initial State Probability, Stream Order, Unit Hydrograph, Fourth order

요 지

본 연구는 3차 하천에 대하여 유도되었던 지형형태학적순간단위도(GIUH)를 4차 하천유역까지 확장하여 다양한 유역에 적용할 수 있도록 하였다. 2~4차 하천에 대한 GIUH를 비교하였으며 유역의 지형매개변수가 동일할 경우 하천차수를 높게 가정할수록 단위도의 첨두유출량은 작아지고 첨두발생시간은 늦어지는 경향을 확인할 수 있었다. GIUH의 적용을 위해서는 면적비와 분기비 등 지형매개변수를 사용하여 초기확률을 산정하는데, 이때 지형매개변수가 가지는 오차 때문에 특정 유역에서 초기확률이 음수가 되는 문제가 발생하며 단위도의 전반부에서 유출량이 음의 값을 가지기도 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 ArcView GIS 3.2를 사용하여 전체면적에 대한 직접유출면적의 비율로 초기확률을 계산하였다. 제안된 방법을 적용하여 상안미, 병천, 산계 등의 유역에서 2~4차 하천에 대한 순간단위도를 산정하여 본 결과, 위의 문제점을 해결할 수 있었다.

핵심용어 : GIUH, 초기확률, 하천차수, 단위도, 4차

- * 고려대학교 공과대학 건축·사회환경공학과 석사과정
Graduate Student, Dept. of Civil, Environmental and Architectural Engrg., Korea Univ., Seoul, Korea.
(e-mail: daecheon80@hotmail.com)
- ** 고려대학교 공과대학 건축·사회환경공학과 박사과정
Doctoral Student, Dept. of Civil, Environmental and Architectural Engrg., Korea Univ., Seoul, Korea.
- *** 한밭대학교 토목시스템공학부 전임강사
Assistant Prof., Dept. of Civil, Environmental and Urban Engrg., Hanbat National Univ., Daejeon, Korea.
- **** 고려대학교 공과대학 건축·사회환경공학과 교수
Professor, Dept. of Civil, Environmental and Architectural Engrg., Korea Univ., Seoul, Korea.

1. 서 론

유출은 강우에 대한 유역의 반응이다. 유역에 강우가 발생하면 유역의 크기, 모양 및 경사, 하천의 형태 및 조밀도, 토양의 종류, 토지이용상태 등의 요소들로 구성된 복잡한 시스템을 통과하면서 다양한 형태의 유출이 발생하게 된다. 이런 복잡한 반응의 결과를 해석하기 위하여 많은 수문학자들은 지금까지 다양한 방법을 사용하여 오고 있다. 그 중 Rodriguez-Iturbe와 Valdes (1979)는 유역의 수문학적 응답과 지형학적 구조를 결합시키려는 시도를 하여 지형형태학적 순간단위도(Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph, GIUH)를 제안하였다. 그 이후 GIUH는 수문과정의 이론적 해석에서 중요한 부분을 차지하고 있으며 많은 연구가 진행되었다. Snell and Sivapalan (1994), Sorman *at al.* (1995), Franchini and O'connell (1996), Bhaskar *at al.* (1997), Karvonen *at al.* (1999)이 지형학적 순간단위도와 관련된 연구를 진행하였으며 최근에는 Sahoo *at al.* (2006)이 Clark과 Nash모델에 근거한 GIUH를 사용하여 홍수량을 평가하는 연구를 수행하였다. 국내의 경우 조홍제와 이상배(1990)가 최초로 평창강과 위천에 GIUH를 적용한 이후, 김상단 등(2000), 문장원 등(2001), 김주철 등(2005), 김진훈과 배덕효(2006)가 GIUH의 적용 및 개선에 관한 연구를 수행하였다. 최근에는 GIS 기술의 발달로 유역의 지형자료를 보다 쉽게 해석할 수 있어 GIS 및 위성영상을 이용한 GIUH의 적용에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. Jain 등(2000)은 GUI와 GIUH를 사용하여 설계홍수량을 평가하였으며 국내의 경우 허창환과 이순탁(2002)이 GIS를 이용한 GIUH 모형의 해석에 관한 연구를 수행하였고 최현 등(2004)은 위성영상을 GIUH의 적용에 활용하였다. 하지만 기존의 연구들은 GIUH를 3차 하천유역에 적용하였거나 4차 이상의 하천에 적용할 때 Rodriguez-Iturbe and Valdes (1979)가 제시한 간략식을 사용하였다. Rodriguez-Iturbe and Valdes의 간략식은 단위도를 삼각형으로 가정한 후 첨두유량과 첨두발생시간만을 제시하고 있다. 하지만 동일한 하천유역이라 할지라도 해상에 따라 하천차수는 다르게 결정될 수 있으며 하천차수가 다르게 결정될 경우 단위도의 모양이 변하게 된다. 따라서 모든 유역을 삼각형 단위도로 가정하여 동일한 단위도를 사용하는 것은 타당하지 못하다. 이러한 이유로 본 연구에서는 GIUH의 실유역 적용시 하천차수에 따른 적용성 향상 및 다양한 유역에 적용이 가능하도록 4차 하천에 대한 GIUH의 식을 유도하였다. 또한 Rodriguez-Iturbe and Valdes가 제안한 식을 이용

하여 GIUH의 초기확률을 산정할 경우 분기비와 면적비를 이용한다. 그러나 이 값들을 산정할 때 발생하는 오차에 의해서 초기확률이 음수가 될 수 있기 때문에 이를 보완하기 위하여 ArcView를 이용하여 초기확률을 유역의 면적비로 직접 구하였다. 이러한 과정을 통해 GIUH의 실유역 적용 측면에서 발전된 방안을 제시하고자 한다.

2. 지형형태학적 순간단위도(GIUH)

2.1 GIUH 이론

Rodriguez-Iturbe and Valdes (1979)는 무한하게 많은 수의 물 입자가 유역 전반에 걸쳐 동시에 떨어졌을 때 각각의 물 입자가 유역의 출구에 도달하는 데 필요한 시간의 확률밀도함수를 유역출구에서의 수문곡선으로 가정하였다. 이를 바탕으로 3차 하천유역에서의 순간단위도를 Eq. (1)과 같이 표현하였다.

$$IUH(t) = \frac{d\theta_4(t)}{dt} = \theta_1(0) \cdot \frac{d\Phi_{14}(t)}{dt} + \theta_2(0) \cdot \frac{d\Phi_{24}(t)}{dt} + \theta_3(0) \cdot \frac{d\Phi_{34}(t)}{dt} \quad (1)$$

Eq. (1)에서 $\theta_i(0)$ 는 초기확률로 i 차 하천유역에 임의의 물방울이 떨어질 확률을 의미한다. 초기확률은 전체유역면적에 대한 i 차 하천의 직접유출면적의 비율로 정의할 수 있으며 Eq. (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_i(0) = \frac{A_i^*}{A_T} \quad (2)$$

A_i^* : i 차 하천유역의 직접유출면적

A_T : 전체 유역면적

Eq. (2)는 유역의 분기비(R_B), 길이비(R_L), 면적비(R_A) 등 지형학적 인자로 표현이 가능하며 Eq. (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_1(0) = \frac{R_B^2}{R_A^2}, \quad (3)$$

$$\theta_2(0) = \frac{R_B}{R_A} - \frac{R_B^3 + 2R_B^2 - 2R_B}{R_A^2(2R_B - 1)},$$

$$\theta_3(0) = 1 - \frac{R_B}{R_A} - \frac{R_B^3 - 3R_B^2 + 2R_B}{R_A^2(2R_B - 1)}$$

또한 Eq. (1)의 $\Phi_{ij}(t)$ 는 천이확률 p_{ij} 과 평균대기시간의 역수 λ_i 로 지형학적 인자로 표현이 가능하다. 따라서 GIUH는 유역출구에서의 순간단위도를 지형인자의 함수로만 나타낼 수 있다. Rodriguez-Iturbe and Valdes (1979)는 3차 하천에 대한 GIUH를 유도하였으며 3차 이상의 차수를 가지는 하천에서는 Eq. (4)와 같은 간략식을 제시하여 사용할 수 있게 하였다.

$$q_p = \frac{1.31}{L_\Omega} R_L^{0.43} v \quad (4)$$

$$t_p = \frac{0.44 L_\Omega}{v} \left(\frac{R_B}{R_A} \right)^{0.55} R_L^{-0.38}$$

L_Ω : 최고차 하천 길이 (km)
 v : 대상유역의 유속 (m/s)

2.2 4차 하천 유역에서의 GIUH

유역을 4차로 가정하였으므로 유역출구는 4차 하천 이후의 이동 단계인 5번째 단계로 정의할 수 있으며 유역출구에서의 순간단위도는 Eq. (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} IUH(t) = \frac{d\theta_5(t)}{dt} = & \theta_1(0) \cdot \frac{d\Phi_{15}(t)}{dt} \quad (5) \\ & + \theta_2(0) \cdot \frac{d\Phi_{25}(t)}{dt} + \theta_3(0) \cdot \frac{d\Phi_{35}(t)}{dt} \\ & + \theta_4(0) \cdot \frac{d\Phi_{45}(t)}{dt} \end{aligned}$$

Eq. (5)에서 Howard (1971)는 $\Phi(t)$ 가 Eq. (6), Eq. (7)과 같이 표현될 수 있음을 보였다.

$$\Phi(t) = e^{At} \quad (6)$$

$$\Phi^e(t) = [sI - A]^{-1} \quad (7)$$

4차 하천에서 Eq. (7)의 우항은 Eq. (8)이 되며 이를 역라플라스변환의 형태로 나타내면 Eq. (9)의 형태로 나타낼 수 있다. Eq. (9)는 $\Phi^e(t)$ 이므로 $\Phi(t)$ 는 Eq. (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$[sI - A] = \begin{bmatrix} s + \lambda_1 & -\lambda_1 p_{12} & -\lambda_1 p_{13} & 0 \\ 0 & s + \lambda_2 & -\lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & s + \lambda_3 & -\lambda_3 \\ 0 & 0 & 0 & s \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} [sI - A]^{-1} = & \frac{1}{s} [a_{ij}] + \frac{1}{s + \lambda_1} [b_{ij}] \quad (9) \\ & + \frac{1}{s + \lambda_2} [c_{ij}] + \frac{1}{s + \lambda_3} [d_{ij}] \end{aligned}$$

$$\Phi(t) = [a_{ij}] + e^{-\lambda_1 t} [b_{ij}] + e^{-\lambda_2 t} [c_{ij}] + e^{-\lambda_3 t} [d_{ij}] \quad (10)$$

Eq. (8)과 Eq. (9)를 연립하여 풀면 Eq. (10)의 $a_{i,j}$, $b_{i,j}$, $c_{i,j}$, $d_{i,j}$ 는 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_{15} = a_{25} = a_{35} = a_{45} = a_{55} = 1$$

$$b_{15} = \frac{l_1 n_2 - l_2 n_1}{m_2 n_1 - m_1 n_2}, \quad b_{25} = b_{35} = b_{45} = b_{55} = 0$$

$$c_{15} = \frac{l_1 m_2 - l_2 m_1}{m_1 n_2 - m_2 n_1}, \quad c_{25} = \frac{\lambda_4 (\lambda_2 p_{24} - \lambda_3)}{(\lambda_2 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_4)},$$

$$c_{35} = c_{45} = c_{55} = 0$$

$$d_{15} = \frac{\lambda_4 + b_{15}(\lambda_4 - \lambda_1) + c_{15}(\lambda_4 - \lambda_2)}{\lambda_3 - \lambda_4},$$

$$d_{25} = \frac{\lambda_2 \lambda_4 p_{23}}{(\lambda_2 - \lambda_3)(\lambda_3 - \lambda_4)}, \quad d_{35} = \frac{\lambda_4}{\lambda_3 - \lambda_4},$$

$$d_{45} = d_{55} = 0$$

$$e_{15} = -1 - b_{15} - c_{15} - d_{15},$$

$$e_{25} = \frac{\lambda_2 (\lambda_4 p_{24} - \lambda_3)}{(\lambda_2 - \lambda_4)(\lambda_3 - \lambda_4)}, \quad e_{35} = \frac{-\lambda_3}{\lambda_3 - \lambda_4},$$

$$e_{45} = -1, \quad e_{55} = 0$$

$$l_1 = \lambda_1 \lambda_3 p_{14} - \lambda_3^2 - \lambda_1 \lambda_4 p_{14} + \lambda_3 \lambda_4$$

$$\begin{aligned} l_2 = & \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 p_{14} + \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 p_{12} p_{24} - \lambda_1 \lambda_3^2 p_{12} - \lambda_2 \lambda_3^2 \\ & - \lambda_1 \lambda_2 \lambda_4 p_{14} - \lambda_1 \lambda_2 \lambda_4 p_{12} p_{24} + \lambda_1 \lambda_3 \lambda_4 p_{12} + \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \end{aligned}$$

$$m_1 = -\lambda_3^2 \lambda_4 + \lambda_1 \lambda_3^2 + \lambda_3 \lambda_4^2 - \lambda_1 \lambda_4^2 + \lambda_1^2 \lambda_4 - \lambda_1^2 \lambda_3$$

$$\begin{aligned} m_2 = & -\lambda_2 \lambda_3^2 \lambda_4 + \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3^2 + \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4^2 - \lambda_1 \lambda_2 \lambda_4^2 \\ & + \lambda_1^2 \lambda_2 \lambda_4 - \lambda_1^2 \lambda_2 \lambda_3 \end{aligned}$$

$$n_1 = -\lambda_3^2 \lambda_4 + \lambda_2 \lambda_3^2 + \lambda_3 \lambda_4^2 - \lambda_2 \lambda_4^2 + \lambda_2^2 \lambda_4 - \lambda_2^2 \lambda_3$$

$$\begin{aligned} m_2 = & -\lambda_1 \lambda_3^2 \lambda_4 + \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3^2 + \lambda_1 \lambda_3 \lambda_4^2 - \lambda_1 \lambda_2 \lambda_4^2 \\ & + \lambda_1 \lambda_2^2 \lambda_4 - \lambda_1 \lambda_2^2 \lambda_3 \end{aligned}$$

여기서 λ_i 는 i 차 하천수로에서 평균 대기시간의 역수로 Eq. (11)과 같이 가정할 수 있다.

$$\lambda_i = \nu / \bar{L}_i \quad (11)$$

ν : 대상유역에서의 유속

\bar{L}_i : i 차 하천유역에서의 평균 하천길이

$p_{i,j}$ 는 천이확률로서 i 차 하천에 있는 물방울이 j 차 하천으로 이동할 확률을 나타낸다. 천이확률은 Eq. (12)와 같이 나타낼 수 있다. 식에서 $j = i + 1$ 인 경우 $\delta_{i+1,j} = 1$ 이고 $j \neq i + 1$ 인 경우 $\delta_{i+1,j} = 0$ 의 값을 갖는다. 4차 하천에서 산정된 천이확률은 Table 1과 같다.

$$p_{ij} = \frac{(N_i - 2N_{i+1}) \times E(j, \Omega)}{\sum_{k=i+1}^{\Omega} E(k, \Omega) \times N_i} + \frac{2N_{i+1}}{N_i} \delta_{i+1,j},$$

$$1 \leq i \leq j \leq \Omega$$

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

$$i = 2, \dots, \Omega \quad (12)$$

여기서

$$\delta_{i+1,j} = 1 \quad (\text{when } j = i + 1)$$

$$\delta_{i+1,j} = 0 \quad (\text{when } j \neq i + 1)$$

이다.

Eq. (5)~Eq. (12)를 이용하여 지형인자가 자연하천

의 범위에 있을 때의 2, 3, 4차 하천의 GIUH를 Fig. 1에 나타내었다. 일반적인 자연하천의 경우 분기비는 3~5, 길이비는 1.5~3.5, 면적비는 3~6의 값을 가지는 것으로 알려져 있다(Schumm, 1956). Fig. 1에서 매개변수가 같을 경우 하천 차수를 높게 가정할수록 단위도의 침두유출량은 작아지고 침두발생시간은 길어지는 경향이 나타났다. 또한 지형인자가 자연하천의 범위에 있을 때에도 R_B/R_A 값이 클 경우에는 3, 4차 하천의 GIUH가 음수가 되었다. 단위도가 음수가 되는 것은 물리적으로 불가능한 현상이나 초기확률이 음수가 되기 때문에 발생하였다. 따라서 3, 4차 이상의 하천에서 GIUH를 적용할 경우 초기확률의 결정방법에 대한 보완이 필요하다.

2.3 초기확률 결정방법의 보정

분기비 등의 지형인자가 일반적인 값을 가지는 하천유역에서 단위도의 전반부에 음수가 발생하였다. 이는 Table 2에서 보듯이 3차 하천의 초기확률 $\theta_3(0)$ 또는 4차 하천의 초기확률 $\theta_4(0)$ 가 음수가 되기 때문이다. 초기확률은 물방울이 해당 하천 유역에 떨어질 확률로 음수가 발생하는 것이 물리적으로 불가능하다. 그러나 Rodriguez-Iturbe and Valdes (1979)는 GIUH의 용이한 적용을 위하여 초기확률을 Table 3과 같이 분기비와 면적비의 함수로 나타내었으며, 분기비와 면적비를 산정하는데 발생하는 오차 때문에 초기확률이 음수가 되었다. 따라서 본 연구에서는 Eq. (2)를 직접 사용하여 초기확률을 산정하였으며 이를 위하여 ArcView GIS 3.2를 사용하여 A_i^* 와 A_T 를 산정하였다.

Table 1. Transition probabilities

p_{ij}	2nd Order	3rd Order	4th Order
p_{12}	1	$\frac{R_B^2 + 2R_B - 2}{2R_B^2 - R_B}$	$\frac{2R_B^4 + 3R_B^3 - 2R_B^2 - 4R_B + 2}{4R_B^4 - 2R_B^3 - 2R_B^2 + R_B}$
p_{13}	.	$\frac{R_B^2 - 3R_B + 2}{2R_B^2 - R_B}$	$\frac{R_B^3 - 2R_B^2 - R_B + 2}{4R_B^3 - 2R_B^2 - 2R_B + 1}$
p_{23}	.	1	$\frac{R_B^2 + 2R_B - 2}{2R_B^2 - R_B}$
p_{14}	.	.	$\frac{R_B^4 - 3R_B^3 + R_B^2 + 3R_B - 2}{4R_B^4 - 2R_B^3 - 2R_B^2 + R_B}$
p_{24}	.	.	$\frac{R_B^2 - 3R_B + 2}{2R_B^2 - R_B}$
p_{34}	.	.	1

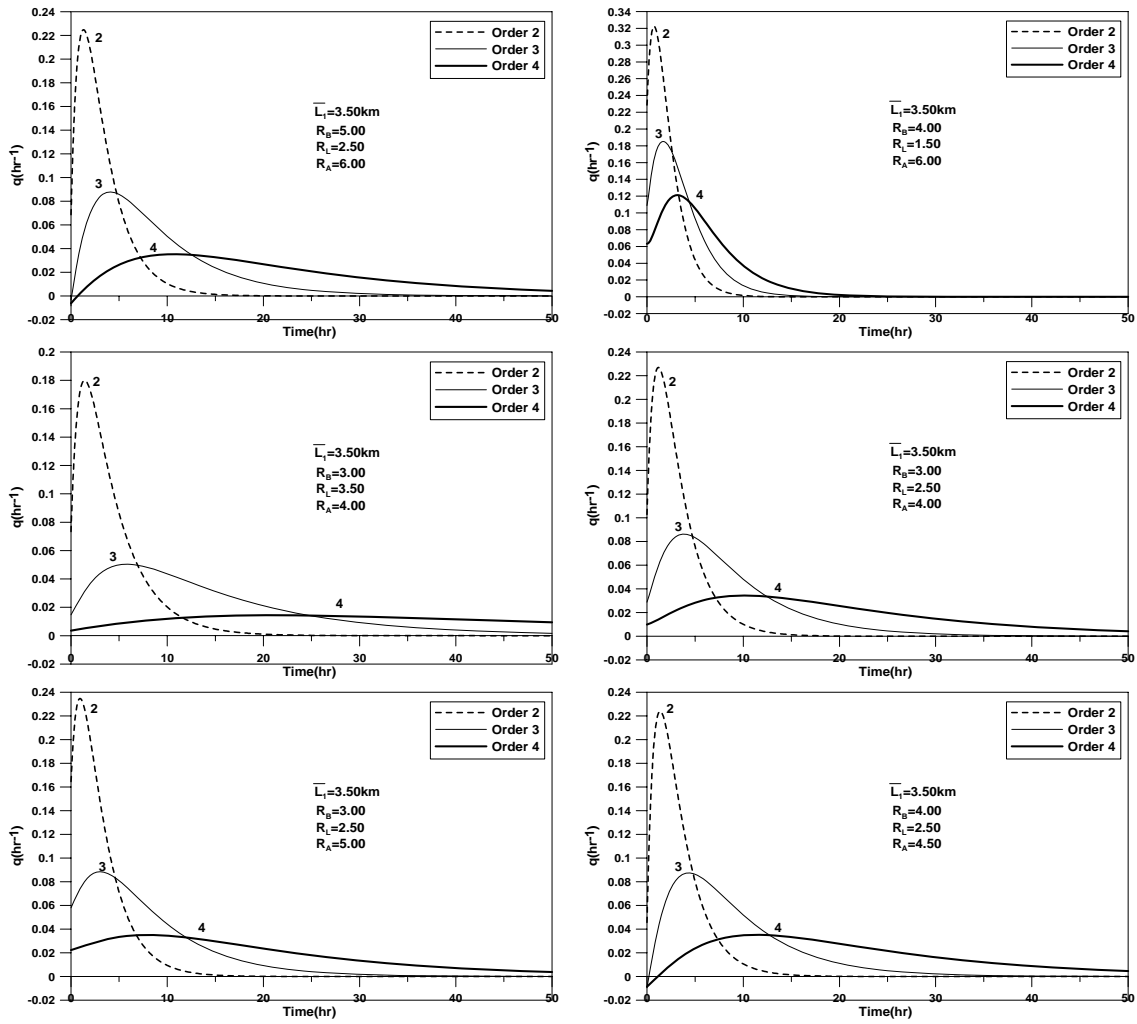


Fig. 1. Variation of GIUH by R_A, R_B, R_L

Table 2. Initial probabilities by area ratio of direct drainage

$\theta_i(0)$	$R_B = 4.0, R_L = 2.5, R_A = 4.5$			$\theta_i(0)$	$R_B = 5.0, R_L = 2.5, R_A = 6.0$		
	2nd	3rd	4th		2nd	3rd	4th
$\theta_1(0)$	0.889	0.790	0.702	$\theta_1(0)$	0.833	0.694	0.579
$\theta_2(0)$	0.111	0.268	0.258	$\theta_2(0)$	0.167	0.324	0.286
$\theta_3(0)$		-0.058	0.171	$\theta_3(0)$		-0.019	0.230
$\theta_4(0)$			-0.131	$\theta_4(0)$			-0.094
$\theta_i(0)$	$R_B = 4.0, R_L = 1.5, R_A = 6.0$			$\theta_i(0)$	$R_B = 3.0, R_L = 3.5, R_A = 4.0$		
	2nd	3rd	4th		2nd	3rd	4th
$\theta_1(0)$	0.667	0.444	0.296	$\theta_1(0)$	0.750	0.563	0.422
$\theta_2(0)$	0.333	0.317	0.220	$\theta_2(0)$	0.250	0.263	0.207
$\theta_3(0)$		0.238	0.276	$\theta_3(0)$		0.175	0.223
$\theta_4(0)$			0.207	$\theta_4(0)$			0.149
$\theta_i(0)$	$R_B = 3.0, R_L = 2.5, R_A = 4.0$			$\theta_i(0)$	$R_B = 3.0, R_L = 2.5, R_A = 5.0$		
	2nd	3rd	4th		2nd	3rd	4th
$\theta_1(0)$	0.750	0.563	0.422	$\theta_1(0)$	0.600	0.360	0.216
$\theta_2(0)$	0.250	0.263	0.207	$\theta_2(0)$	0.400	0.288	0.178
$\theta_3(0)$		0.175	0.223	$\theta_3(0)$		0.352	0.267
$\theta_4(0)$			0.149	$\theta_4(0)$			0.338

Table 3. Initial probability equations of 3rd and 4th order streams

	2nd	3rd	4th
$\theta_1(0)$	$\frac{R_B}{R_A}$	$\frac{R_B^2}{R_A^2}$	$\frac{R_B^3}{R_A^3}$
$\theta_2(0)$	$1 - \frac{R_B}{R_A}$	$\frac{R_B}{R_A} - \frac{R_B^3 + 2R_B^2 - 2R_B}{R_A^2(2R_B - 1)}$	$R_B^2 \left[\frac{1}{R_A^2} - \frac{R_B}{R_A^3} \left(\frac{2R_B^3 - 5R_B^2 + 2R_B}{4R_B^3 - 2R_B^2 - 2R_B + 1} + \frac{2}{R_B} \right) \right]$
$\theta_3(0)$.	$1 - \frac{R_B}{R_A} - \frac{R_B^3 - 3R_B^2 + 2R_B}{R_A^2(2R_B - 1)}$	$\frac{R_B}{R_A} - \frac{R_B^3}{R_A^3} \cdot p_{13} - \frac{R_B^2}{R_A^2} \cdot p_{23}$
$\theta_4(0)$.	.	$1 - \frac{R_B^3}{R_A^3} \cdot p_{14} - \frac{R_B^2}{R_A^2} \cdot p_{24} - \frac{R_B}{R_A}$

3. 적용 및 결과

3.1 대상유역

본 연구의 대상유역으로 국제수문개발계획(IHP)의 대표유역인 평창강의 상안미 유역과 위천의 병천 유역, 보청천의 산계 유역으로 선정하였다. 평창강 유역은 남한강수계, 충주호 상류유역의 서강으로 합류되는 주천

강, 평창강 유역으로 강원도 영월군, 평창군에 위치한다. 위천 유역은 낙동강 수계, 중류지역의 경상북도 의성군에 위치하는 유역으로 영강 합류부 하류, 구미 상류지역에 위치한다. 보청천 유역은 금강수계, 대청댐 상류지역의 충청북도 충청북도 옥천군에 위치한다. Fig. 2는 상안미, 병천, 산계 유역을 나타내고 있으며 Table 4는 대상유역의 유역특성인자를 나타내고 있다.

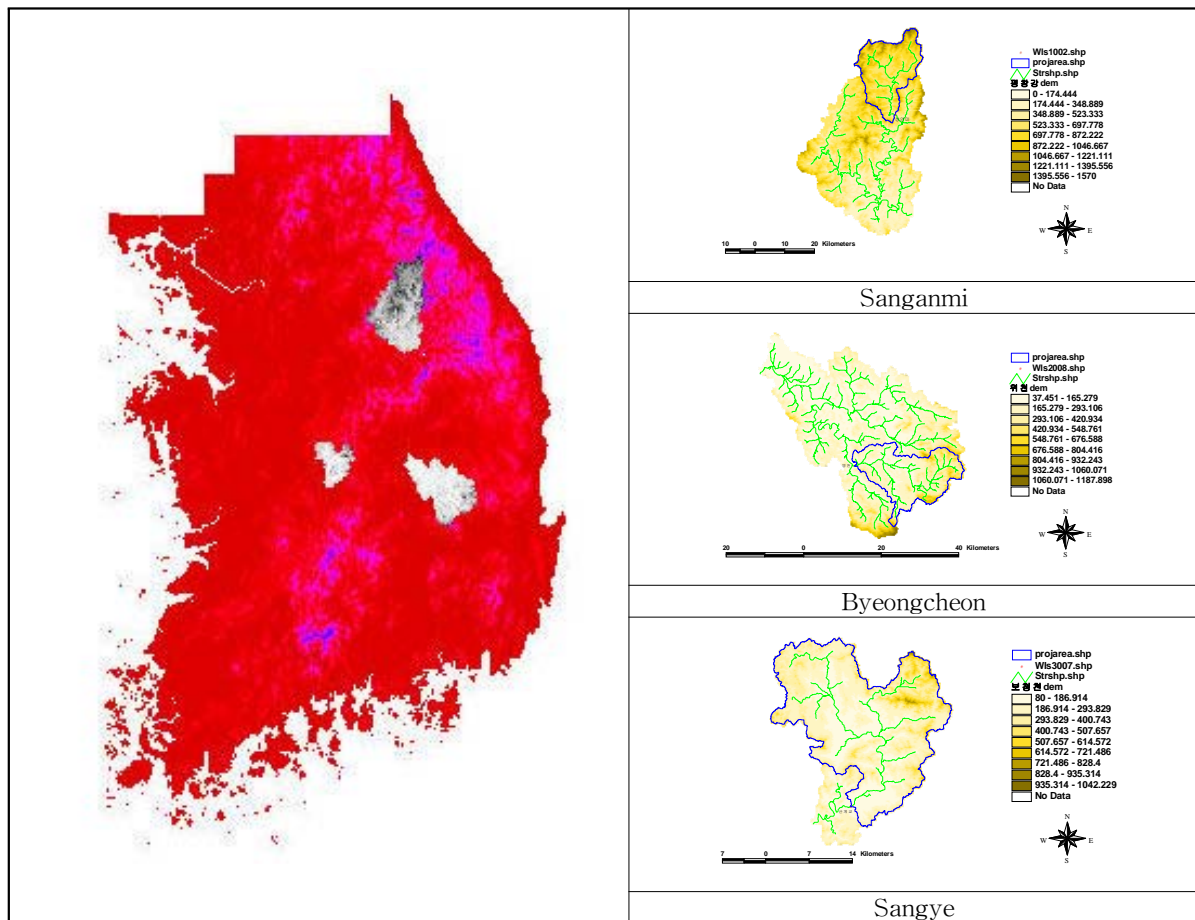


Fig. 2. Target areas

Table 4. Geomorphologic parameters

Stream	Station	Area (km ²)	Length (km)	Slope of stream	Slope of basin	Gab of altitude (m)
Pyungchang	Sanganmi	396.25	44.20	0.00810	0.02643	1,188.4
Wicheon	Byeongcheon	302.13	40.65	0.01099	0.01418	584.7
Bochungcheon	Sangye	475.68	49.00	0.00582	0.00804	397.2

시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구(건설기술연구원, 2001)

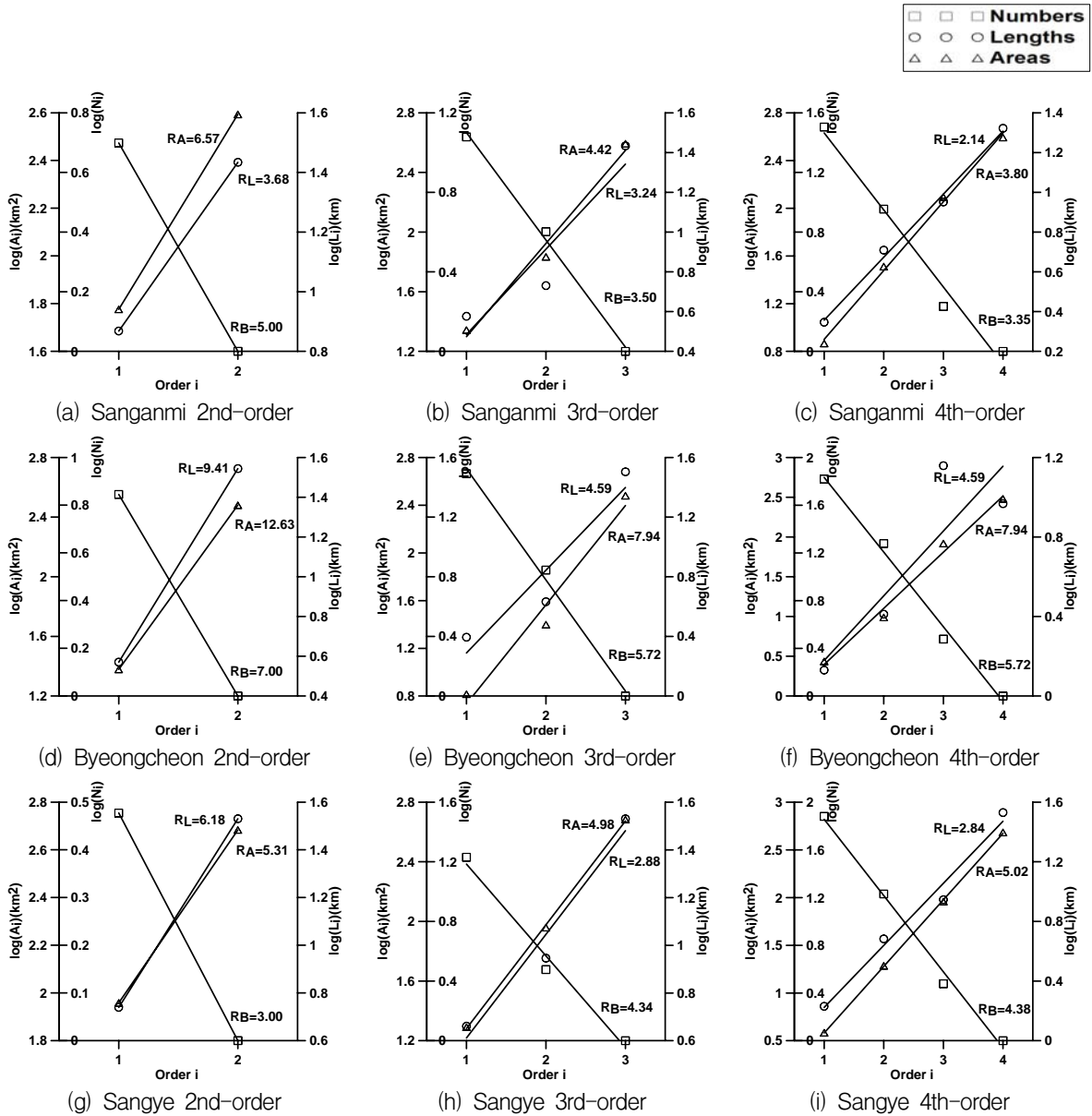


Fig. 3. Determination process of parameters by stream orders

3.2 매개변수 산정

대상유역의 매개변수는 해상도에 따라 다르게 나타나며, 본 연구에서는 대상유역을 2, 3, 4차 하천으로 분류하여 매개변수를 각각 산정하였다. 각 대상유역은 공간해상도 30m×30m의 1:5,000 DEM자료(국가 수자원관

리 종합정보시스템)를 ArcView 3.2 프로그램과 Extension (Hec-GeoHMS 1.1)을 사용하여 대상유역의 하천망도 및 지형자료를 얻어내었다.

하천차수에 따른 분기비, 면적비, 길이비의 변화양상을 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 해상도를 높여 최고차 하천차수를 높게 가정할수록 매개변수의 변동폭이

작고 산정된 값도 작아지는 경향을 확인할 수 있다. Table 5는 Fig. 3으로부터 산정된 대상유역의 지형 매개변수를 나타낸다.

3.3 초기확률 산정

ArcView GIS 3.2를 사용하여 A_i^* 와 A_T 를 구하여 Eq. (2)로부터 초기확률을 산정하였다. 대상유역의 각 하천 차수유역별 직접유출면적을 추출한 값은 Table 6과 같고, 이를 통하여 산정된 초기확률은 Table 7과 같다.

2차 하천차수 유역에서의 초기확률 값은 Rodriguez에 의한 Table 3으로 구한 값과 Eq (2)를 이용한 값이 동일했다. 하지만 Table 3의 방법으로 초기확률을 산정

할 경우 하천차수가 증가할수록 음수가 되는 경우가 발생함을 Table 7로부터 확인할 수 있다. 4차 하천유역으로 가정하였을 경우의 초기확률인 $\theta_4(0)$ 은 모두 음수로 발생하였고, 산계유역은 3차 하천유역으로 가정하였을 경우에도 초기확률이 음수로 발생하였다.

3.4 하천차수별 GIUH 산정

초기확률의 산정 방법에 따라 대상유역을 3차와 4차 하천으로 가정한 후 산정한 GIUH를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4의 좌측 그림은 전체 GIUH이며 우측은 초기 5시간을 확대한 그림이다. 초기확률을 보정함에 따라 단위도의 초기에 음수가 되는 문제를 해결할 수 있었다.

Table 5. Geomorphologic parameters of target watersheds by stream orders classification

Station		Sanganmi			Byeongcheon			Sangye		
Stream order		2	3	4	2	3	4	2	3	4
R_B	N_1/N_2	5.00	3.00	3.56	7.00	4.43	3.47	3.00	5.67	4.48
	N_2/N_3	·	4.00	4.50	·	7.00	6.33	·	3.00	5.67
	N_3/N_4	·	·	2.00	·	·	3.00	·	·	3.00
	Mean	5.00	3.50	3.35	7.00	5.72	4.27	3.00	4.34	4.38
R_L	L_2/L_1	3.68	1.43	2.31	9.41	1.73	1.91	6.18	1.93	2.84
	L_3/L_2	·	5.05	1.75	·	7.45	5.59	·	3.84	1.83
	L_4/L_3	·	·	2.35	·	·	0.64	·	·	3.84
	Mean	3.68	3.24	2.14	9.41	4.59	2.71	6.18	2.88	2.84
R_A	A_2/A_1	6.57	3.10	4.42	12.63	3.83	3.57	5.31	4.66	5.04
	A_3/A_2	·	5.74	3.83	·	12.05	8.52	·	5.31	4.71
	A_4/A_3	·	·	3.16	·	·	3.64	·	·	5.31
	Mean	6.57	4.42	3.80	12.63	7.94	5.24	5.31	4.98	5.02

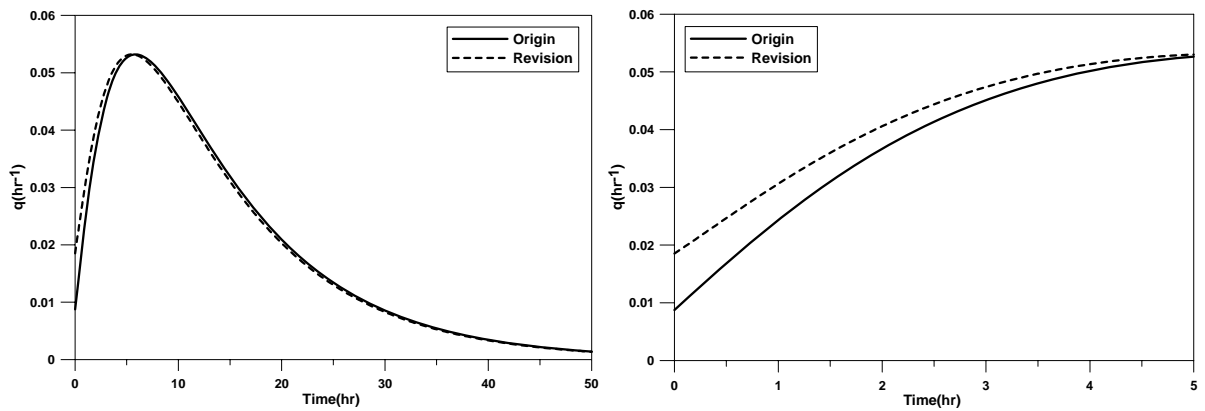
Table 6. Areas to estimate the initial state Probabilities by Eq. 2

(단위 : m^2)

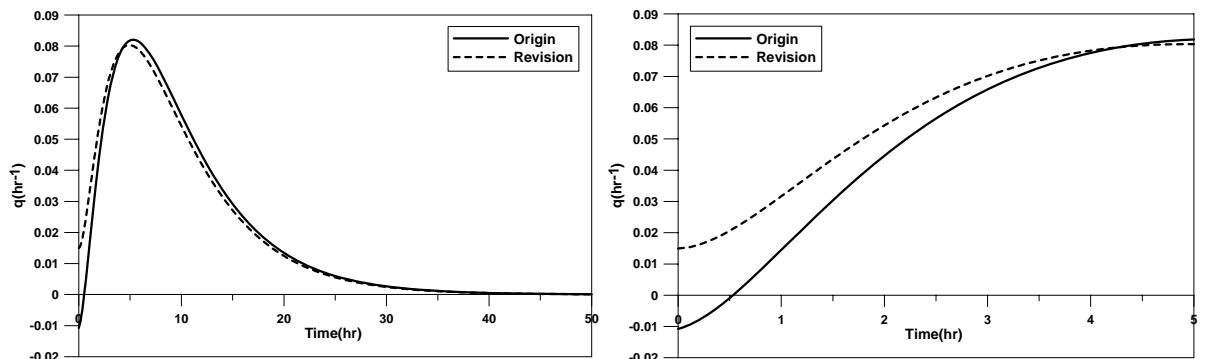
Station		A_1^*	A_2^*	A_3^*	A_4^*	A_T
Sanganmi	2	298,525,500	93,511,800	·	·	392,037,300
	3	264,429,000	47,735,100	79,873,200	·	
	4	234,936,000	89,331,300	32,377,500	35,392,500	
Byeongcheon	2	167,289,300	134,664,300	·	·	301,953,600
	3	202,785,300	50,444,100	48,724,200	·	
	4	180,193,500	55,032,300	55,411,200	11,316,600	
Sangye	2	272673900	209711700	·	·	482,385,600
	3	331894800	49660200	100830600	·	
	4	290,703,600	114608700	32805900	44267400	

Table 7. Comparison of initial state probabilities at target areas

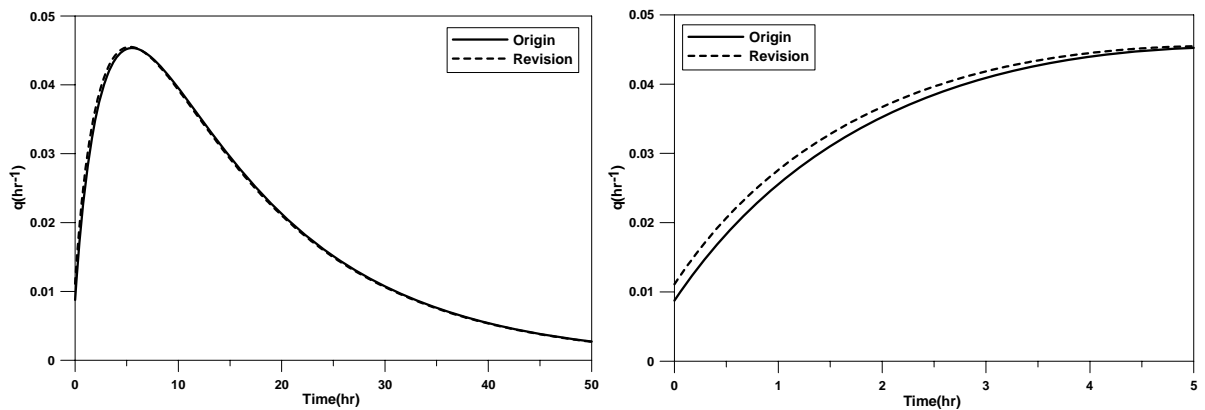
Station		Origin				Revision			
		θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4
Sanganmi	2	0.761	0.239	·	·	0.761	0.239	·	·
	3	0.627	0.277	0.096	·	0.674	0.122	0.204	·
	4	0.685	0.224	0.156	-0.065	0.599	0.228	0.083	0.090
Byeongcheon	2	0.554	0.446	·	·	0.554	0.446	·	·
	3	0.519	0.354	0.127	·	0.672	0.167	0.161	·
	4	0.541	0.263	0.225	-0.029	0.597	0.182	0.184	0.037
Sangye	2	0.565	0.435	·	·	0.565	0.435	·	·
	3	0.759	0.290	-0.050	·	0.688	0.103	0.209	·
	4	0.664	0.273	0.192	-0.129	0.603	0.238	0.068	0.092



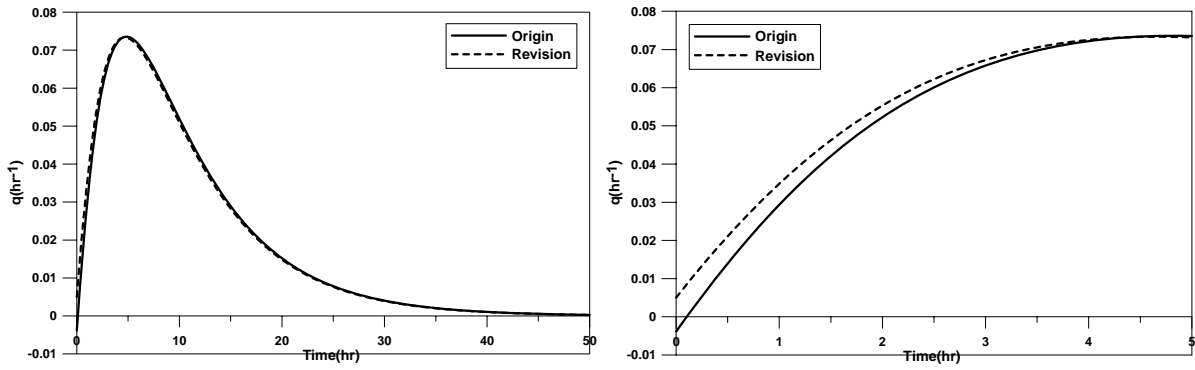
(a) Sanganmi 3rd-order



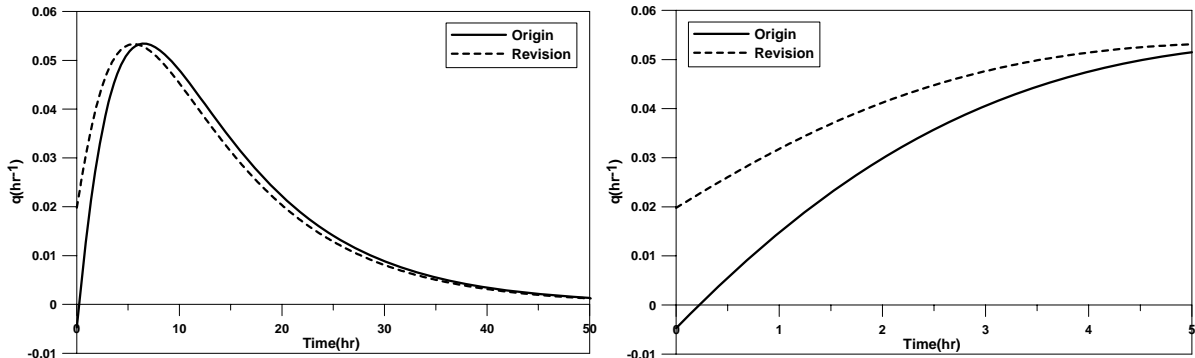
(b) Sanganmi 4th-order



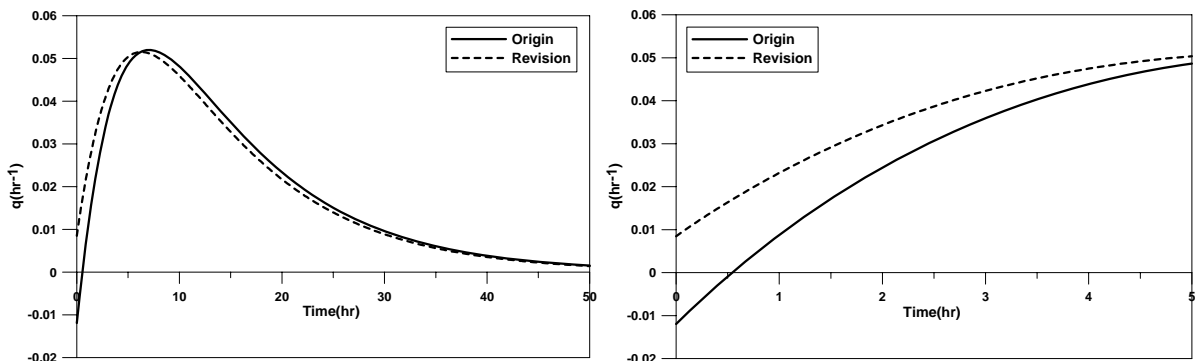
(c) Byeongcheon 3rd-order



(d) Byeongcheon 4th-order



(e) Sangye 3rd-order



(f) Sangye 4th-order

Fig. 4. Comparison of GIUHs

4. 결 론

본 연구에서는 기존에 3차 하천에 대하여 유도되었던 GIUH를 4차 하천유역에 대하여 전개하였으며, 2, 3, 4차 하천의 순간단위도를 비교하였다. 그 결과 동일한 지형매개변수를 가지는 유역일지라도 지도의 해상도를 증가시켜 높은 하천차수로 가정할수록 단위도의 침투 값은 감소하고 침투 발생시간은 늦춰지는 것을 확인할 수 있었다.

면적비와 분기비 등 지형매개변수를 사용하여 초기확률을 산정하였을 경우 특정 유역에서 초기확률이 음수가 되었으며 이 때문에 단위도의 전반부에서 유출이 음수가 되는 문제가 발생한다. 이는 지형매개변수를 결정할 때

발생하는 오차 때문으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 ArcView GIS 3.2를 사용하여 유역의 전체면적에 대한 직접유출면적의 비율로 초기확률을 계산하였다. 제안된 방법을 상안미, 병천, 산계 유역에 적용하여 순간단위도를 산정한 결과 초기확률은 모두 양수로 결정되었으며 단위도의 전반부에서 음수가 발생하는 문제점을 보완할 수 있었다. 본 연구의 4차 하천에 대한 GIUH의 유도와 직접유출비를 통한 초기확률의 산정은 GIUH의 적용성 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

“이 논문 또는 저서는 2006년 정부(교육인적자원부)

의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임”(KRF-2006-311-D00885)

참 고 문 헌

- 김상단, 유철상, 윤용남 (2000). 지형형태학적 순간단위도의 특성속도에 대한 고찰, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제33권 3호, pp. 315-330
- 김주철, 윤여진, 김재한 (2005). Nash 모형의 지체시간을 이용한 GIUH 유도, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제38권 10호, pp. 801-810
- 김진훈, 배덕호 (2006). 한강유역 한계유출량 산정, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권 2호, pp. 151-160
- 문장원, 유철상, 김중훈 (2001). 동역학적 홍수빈도 모형의 적용 및 해상도 영향 분석, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제34권 1호, pp. 81-90
- 조홍재, 이상배 (1990). 수문응답의 지형학적 합성방법에 관한 연구, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제10권 1호, pp. 99-108
- 최현, 김부길, 이지형, 강인준 (2004). 원격탐사자료를 활용한 지형학적 순간단위유량도 작성, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, Vol.24 No.2B, pp. 111-122
- 허창환, 이순탁 (2002). 하천유역에서 GIS를 이용한 GIUH 모형의 해석, **한국수자원학회논문집**, 제35권 3호, pp. 321-330
- 한국수자원관리 종합정보 홈페이지(<http://www.wamis.go.kr>)
- Bhaskar, N.R., Parida, B.P., and Nayak, A.K. (1997). "Flood estimation for ungaged catchments using the GIUH", *Water Resources Planning and Management*, Vol. 123, No. 4, pp. 228-238
- Franchini, M., and O'Connell, P.E., (1996). "An analysis of the dynamic component of the geomorphologic instantaneous unit hydrograph", *Journal of hydrology*, Vol. 175 No. 1-4, pp.

407-428

- Howard, R.A. (1971). *Dynamic Probabilistic Systems*, John Wiley, New York
- Jain, S.K., Singh, R.D., and Seith, S.M. (2000). "Design flood estimation using GIS supported GIUH approach", *Water Resources Management*, Vol. 14, No. 5, pp. 369-376
- Karvonen, T., Koivusalo, H., Jauhiainen, M.Palko, J., and Wepling, K. (1999). "A hydrological model for predicting runoff from different land-use areas", *Journal of hydrology*, Vol. 217 No. 3-4, pp. 253-265
- Rodriguez-Iturbe, I., and Valdes, J. (1979). "The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response" *Water Resources Research*, Vol. 15, No. 6, pp. 1409-1420
- Sahoo, B., Chatterjee, C., Raghuwanshi, N.S., Singh, R., and Kumar, R.. "Flood estimation by GIUH based Clark and Nash models", *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 11, No. 6, pp. 515-525
- Schumm, S.A. (1956). "Evolution of drainage systems and slopes in badlands at perth Amboy, New Jersey", *Geol. Soc. Amer. Bull.*, Vol. 67, pp. 597-646,
- Shereve, R.L. (1966). "Statistical Law of Stream Number" *Journal of Geology*, Vol. 74, pp. 17-34
- Snell, J.D., and Sivapalan, M. (1994). "On geomorphological dispersion in natural catchments and the geomorphological unit hydrograph", *Water Resources Research*, Vol. 30, No. 7, pp. 2311-2323
- Sorman, A.U. (1995). "Estimation of peak discharge using GIUH model in Saudi Arabia", *Water Resources Planning and Management*, Vol. 121, No. 4, pp. 287-293

(논문번호:07-110/접수:2007.10.17/심사완료:2008.01.22)