

3, 4차 하천에서의 GIUH 유도식과 간략식에 의해 산정된 순간단위도의 비교연구

Comparison of IUHs obtained by the Derived and Simple Equation of GIUH on Third and Fourth-Order Streams

주진걸* / 함대헌** / 전환돈*** / 이정호**** / 김종훈*****

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

Abstract

The simple equation of GIUH are frequently used in many researches instead of the derived equation of GIUH. However it is still unknown whether the simple equation of GIUH is adaptable for estimating IUHs for basins with various geomorphologic conditions. To verify the applicability of the simple equation of GIUH, in this research, four basins which were Bangrim, Sanganni, Museong, and Byeongcheon were selected and each basin was assumed as the third and fourth stream order basin according to variable resolutions. After than, IUHs were estimated using the derived and simple equations of GIUH. Eight to sixteen hydrographs were estimated from the each IUH, compared with observed graphs. In case of that the basin is assumed as a third order stream, the derived equation underestimated the peak flows while the simple equation overestimated them. When the basin is assumed as a fourth order stream, the simple equation generally overestimated the peak flows whereas the derived equation produced peak flows good agreement with the observed peak flow. Moreover, the simple equation showed various deviations in accuracy whereas the derived equation produced stable results. Based on the fact found from this research, it can be concluded that the derived equation of GIUH brings better results than the simple equation of GIUH to estimate IUHs for ungauged basins.

keywords : GIUH, Stream Order, Simple Equation, Unit Hydrograph, Resolution

요 지

GIUH 유도식 대신 삼각형 가정의 간략식이 많은 연구에서 사용되고 있으나, 다양한 지형매개변수를 가진 유역에서 GIUH 간략식의 적용성에 대해서 알려진 바가 없다. 본 연구에서는 지도의 해상도를 변화시켜 방림, 상안미, 무성,

* 고려대학교 공과대학 건축·사회환경공학과 박사과정
Doctoral student, Dept. of Civil, Environmental and Architectural Engrg., Korea Univ., Seoul, Korea.
(e-mail: civilguy97@hanmail.net)

** (주)웹솔루스 시스템사업부 대리
Assistant Manager, System Development Dept., Websolus, Co., LTD, Seoul, Korea

*** 한밭대학교 토목시스템공학부 교수
Professor, Dept. of Civil, Environmental and Urban Engrg., Hanbat National Univ., Daejeon, Korea

**** 고려대학교 부설 방재과학기술연구센터 연구교수
Research Professor, Research Center for Disaster Prevention Science and Technology, Korea Univ., Seoul, Korea

***** 교신저자, 고려대학교 공과대학 건축·사회환경공학과 교수
Professor, Dept. of Civil, Environmental and Architectural Engrg., Korea Univ., Seoul, Korea

병천 등 4개 소유역을 각각 3차와 4차 하천유역으로 나타내고, GIUH 유도식과 간략식을 사용하여 각 유역의 순간단위도를 산정하였다. 각각의 순간단위도에 8~16개의 호우사상을 적용하여 유출수문곡선을 계산하였으며, 이를 관측 유량과 비교하였다. 대상유역들을 3차 하천유역으로 가정하였을 경우, 유도식은 침투유량을 관측값보다 작게, 간략식은 크게 산정하는 경향이 있었다. 대상유역들을 4차 하천유역으로 가정하였을 경우, 유도식은 관측값을 가장 잘 반영하는 것으로 나타났으며, 간략식은 관측값보다 크게 산정하는 것으로 나타났다. 또한 간략식은 유역에 따라 관측값에 대한 정확성의 편차가 크게 나타난 반면, 유도식은 편차가 작고 안정적인 결과를 제시하는 것으로 나타났다. 따라서 미계측 유역에서 순간단위도를 산정할 때는 간략식보다는 유도식을 사용하는 것이 모형의 정확성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : GIUH, 하천차수, 간략식, 단위도, 해상도

1. 서 론

유역의 수문학적 응답과 지형학적 구조를 결합시키려는 시도로 Rodriguez-Iturbe and Valdes(1979)가 지형형태학적 순간단위도(Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph, GIUH)를 제안한 이후, GIUH는 수문과정의 이론적 해석에서 중요한 부분을 차지하고 있으며 이와 관련된 많은 연구가 진행되고 있다. Snell and Sivapalan(1994), Sorman *et al.*(1995), Franchini and O'Connell(1996), Bhaskar *et al.*(1997), Karvonen *et al.*(1999), Sahoo *et al.*(2006) 이 지형학적 순간단위도의 적용에 관한 연구를 수행하였으며, 국내의 경우 김태균(1987)이 지형형태학적 순간단위도를 이용하여 하천유역의 강우 유출 해석을 수행한 이후, 조홍재와 이상배(1990), 김상단 등(2000), 문장원 등(2001), 김주철 등(2005), 김진훈과 배덕호(2006), 함대현 등(2008)이 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 *et al.*, 2000; 허창환, 이순탁, 2002; 최현 등 2004).

지형학적 순간단위도와 관련된 연구들은 GIUH를 주로 3차 하천유역에 적용하였으며, 4차 이상의 하천유역에 적용할 때에는 간략식을 사용하여 침투유량과 침투시간만을 산정하였다. Rodriguez-Iturbe and Valdes(1979)는 3차 하천에서 길이비, 면적비, 분기비 등의 지형인자를 일정 범위 내에서 변화시켜가며 간략식과 유도식의 오차가 10 % 미만임을 보였으나, 지형인자가 그 범위를 넘는 하천이나 4차 이상의 하천유역에서는 간략식의 신뢰성이 알려진 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 4차 하천유역에 간략식을 적용하였을 때의 문제점을 고찰하였으며, 다양한 지형인자를 가지고 있는 3차, 4차 하천 유역에서 간략식과 유도식의 적용성을 확

인하고자 하였다.

2. 지형형태학적 순간단위도(GIUH)

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

또한 Eq. (1)의 $\Phi_{ij}(t)$ 는 천이확률 p_{ij} 과 평균대기시간의 역수 λ_i 로 나타낼 수 있다(Rodriguez-Iturbe and Valdes, 1979). 여기서 p_{ij} 는 Table 1에서 보이는 것처럼 하천의 분기비(R_b)로 나타낼 수 있고, λ_i 는 Eq (3)으로 가정할 수 있어 GIUH를 지형학적 인자로 표현할 수 있다.

$$\lambda_i = \nu / \bar{L}_i \quad (3)$$

Table 1. Transition Probabilities in Various Stream Orders

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_{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_{23}	.	1	$\frac{R_B^2 + 2R_B - 2}{2R_B^2 - R_B}$
p_{24}	.	.	$\frac{R_B^2 - 3R_B + 2}{2R_B^2 - R_B}$
p_{34}	.	.	1

ν : 대상유역에서의 유속

\bar{L}_i : i 차 하천유역에서의 평균 하천길이

4차 하천 유역에 대하여는 유역출구에서의 순간단위를 Eq. (4)와 같이 나타낼 수 있으며, 함대현 등(2008)은 Eq. (4)의 각 매개변수를 유도하여 정리하였다.

$$IUH(t) = \frac{d\theta_5(t)}{dt} = \theta_1(0) \cdot \frac{d\Phi_{15}(t)}{dt} + \theta_2(0) \cdot \frac{d\Phi_{25}(t)}{dt} + \theta_3(0) \cdot \frac{d\Phi_{35}(t)}{dt} + \theta_4(0) \cdot \frac{d\Phi_{45}(t)}{dt} \quad (4)$$

3. 삼각형 단위도 가정의 간략식

Rodriguez-Iturbe and Valdes(1979)는 3차 하천에 대한 GIUH만을 유도하였으며 그 이외의 하천에 대하여는 삼각형 단위도를 가정한 간략식을 제시하여 사용할 수 있게 하였다. Eq. (5)는 간략식의 침투유출량과 침투유출 발생시간을 나타낸다.

$$q_p = \frac{1.31}{L_\Omega} R_L^{0.43} v \quad (5a)$$

$$t_p = \frac{0.44}{v} \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0.55} R_L^{-0.38} \quad (5b)$$

L_Ω : 최고차 하천 길이

v : 대상유역의 특성속도

R_A : 면적비, R_B : 분기비, R_L : 길이비

Rodriguez-Iturbe and Valdes(1979)는 3차 유역의 하

천에서 126가지의 R_A , R_B , R_L 조합에 대하여 간략식과 GIUH의 침투유량을 비교하여 10 % 미만의 오차만을 가지고 있는 것으로 밝혔다. 그러나 126가지 조합 이외의 하천유역과, 4차 이상의 하천유역에 대해서는 적용성에 대하여 알려진 바가 없다. 또한 간략식은 최고차 하천길이(L_Ω)에 따라 침투유량이 민감하게 반응하는 단점이 있다. 일반적인 경우 동일한 유역에 대하여 지도의 해상도를 증가시키면 유역의 최고차 하천차수는 증가하게 되고 최고차 하천의 길이(L_Ω)는 짧아지게 된다. 최고차 하천 길이가 감소하면 Eq. (5)의 우변에서 분모의 크기가 감소하여 침투유량이 증가하게 된다. 이때 길이비(R_L)도 감소하게 되어 Eq. (5) 우변의 분자의 크기도 감소해 최고차 하천길이 감소의 영향이 일부 상쇄되게 된다. 그러나 최고차 하천의 길이가 극단적으로 짧아지게 되면 길이비의 감소에도 불구하고 침투유량이 지나치게 크게 산정되는 문제가 발생하게 된다.

Fig. 1은 해상도를 향상시키에 따라 3차 하천 유역이 4차 하천 유역으로 바뀌고, 최고차 하천의 길이가 극단적으로 짧아지는 예를 보여준다. Fig. 1에서 3차 하천유역으로 가정하면 최고차 하천길이(L_3)는 12.17 km이나, 해상도를 높여 4차 하천유역으로 가정하면 최고차 하천길이(L_4)는 2.23 km로 급격하게 감소한다. Table 2는 Fig. 1의 유역을 3차 하천과 4차 하천으로 가정하였을 경우의 지형 매개변수를 각각 나타낸다. 해상도를 높여 유역을 4차 하천으로 가정하면 3차 하천으로 가정하였을 때보다 1차 하천의 평균길이는 19.1 % 감소하였으나, 최고차 하천길이는 81.7 % 감소하게 된다. Fig. 1

유역에 대하여 GIUH 유도식과 간략식을 적용한 순간 단위도를 Fig. 2에 나타내었다. 최고차 하천길이의 감소는 유도식과 간략식의 첨두유량을 증가시키는 원인이 되었다. Fig. 2(a)의 유도식은 첨두유량이 43 % 증가한 반면, Fig. 2(b)의 간략식은 325 %나 증가하여 최고차 하천길이의 감소로 인한 영향은 간략식이 더 많이 받는 것으로 나타났다. 다양한 유역에서 GIUH와 간략식의 적용성을 확인하기 위하여 본 연구에서는 4개 유역에 GIUH 유도식과 간략식을 적용하여 관측 유량 값과 비

교하여 보았다.

4. 적용 및 결과

4.1 대상유역

본 연구의 대상유역으로 국제수문개발계획(IHP)의 대표유역인 평창강의 방림, 상안미 유역과 위천의 무성, 병천 유역으로 선정하였다. 평창강 유역은 남한강수계, 충주호 상류유역의 서강으로 합류되는 주천강, 평창강 유역으로 강원도 영월군, 평창군에 위치한다. 위천 유역

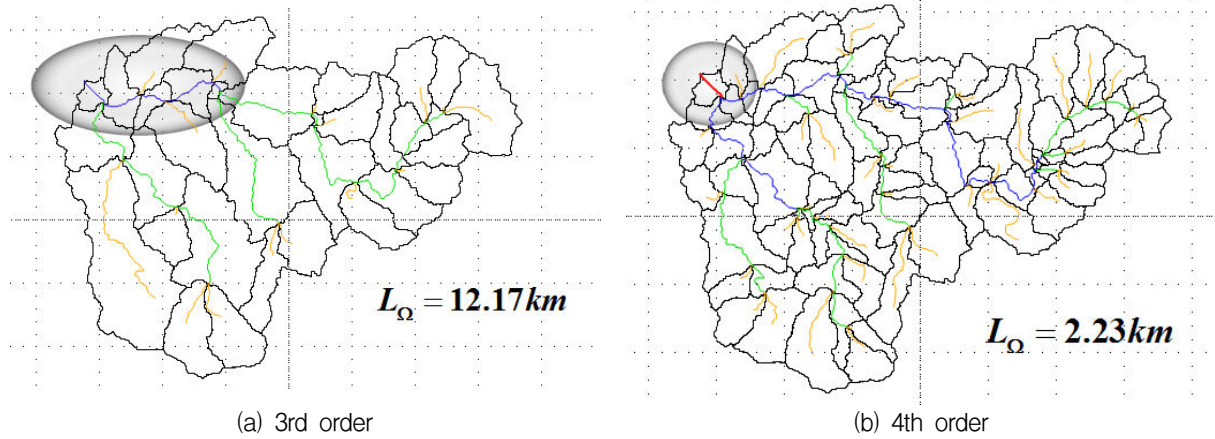


Fig. 1. Variable L_{Ω} According to the Resolution

Table 2. Geomorphologic Parameters in the Fig. 1

Stream order	Area (km ²)	R_L	R_A	R_B	\bar{L}_1 (km)	L_{Ω} (km)
3rd order	471.7	3.94	6.03	4.34	2.78	12.17
4th order	471.7	2.20	4.82	3.87	2.25	2.23

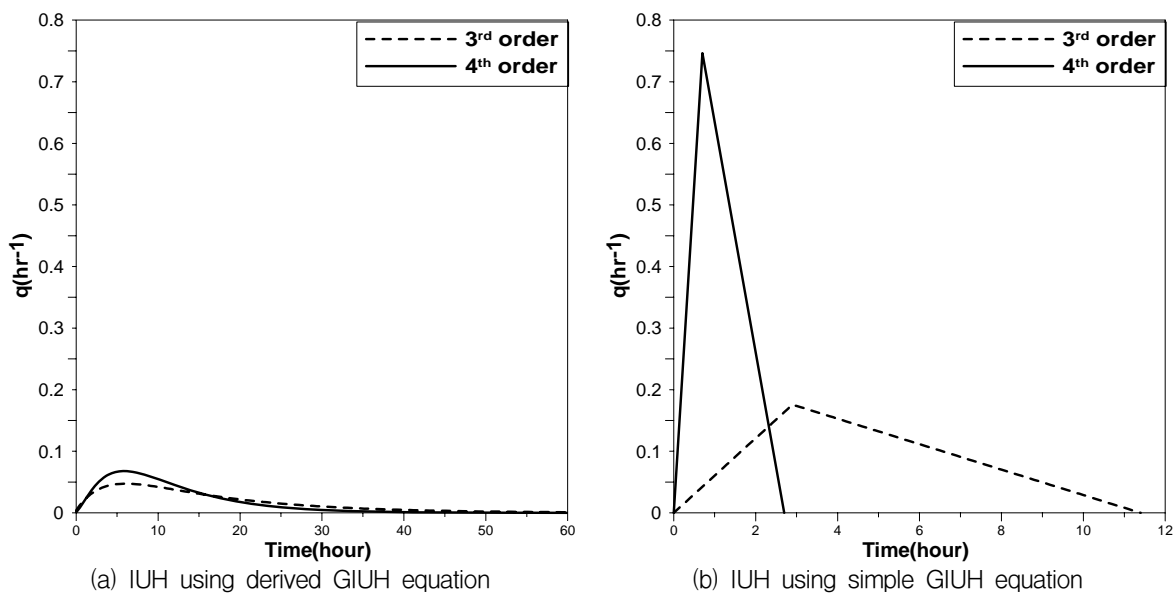


Fig. 2. Instantaneous Unit Hydrographs

은 낙동강 수계, 중류지역의 경상북도 의성군에 위치하는 유역으로 영강 합류부 하류, 구미 상류지역에 위치한다. Fig. 3은 평창강 유역과 위천 유역을 나타내고 있으며 Table 3은 대상유역의 유역특성인자를 나타내고 있다.

4.2 매개변수 산정

GIUH 모형을 적용하기 위해서 지형학적 매개변수와 특성속도의 결정이 필요하다. 유역의 지형학적 매개변

수는 해상도에 따라 다르게 나타날 수 있으며, 본 연구에서는 대상유역을 3, 4차 하천으로 가정하였을 경우의 매개변수를 각각 산정하였다. 각 대상유역은 공간해상도 30 m × 30 m의 1:5,000 DEM자료(국가 수자원관리 종합정보시스템)를 ArcView 3.2 프로그램과 Extension (Hec-GeoHms 1.1)을 사용하여 대상유역의 하천망도 및 지형자료를 얻어내었다. 하천차수에 따른 분기비, 면적비, 길이비를 Fig. 4에 나타내었다.

또한 대상유역의 특성속도를 결정하기 위하여 김남원

Table 3. Geomorphologic Parameters

Stream	Station	Area (km ²)	Length (km)	Slope of stream	Slope of basin	Gab of altitude (m)
Pyungchang	Bangrim	519.69	51.85	0.00745	0.02319	1,220.4
	Sanganmi	396.25	44.20	0.00810	0.02643	1,188.4
Wicheon	Museong	472.53	42.83	0.01078	0.01361	590.9
	Byeongcheon	302.13	40.65	0.01099	0.01418	584.7

* (주) 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구(건설기술연구원, 2001)

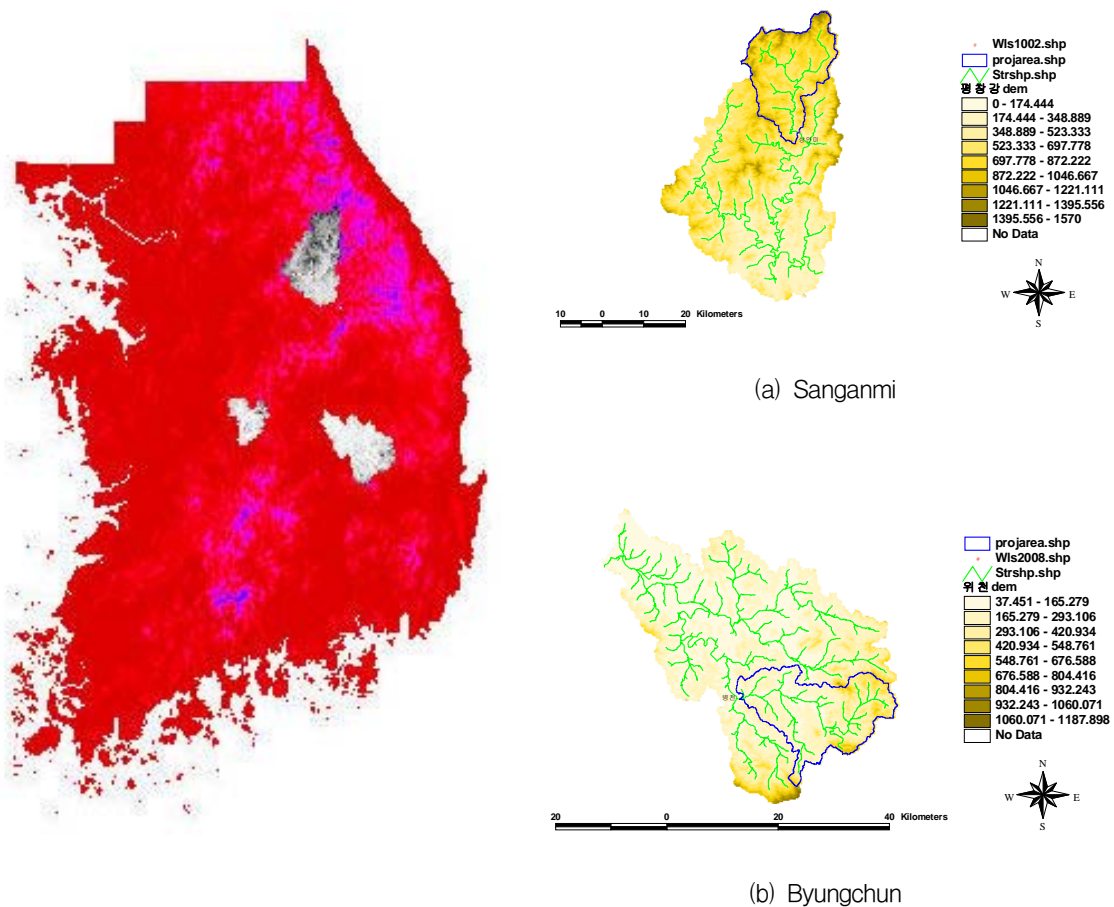


Fig. 3. Targe Areas

(1998)에 의해 제시된 Eq. (6)의 집중시간 산정식을 사용하였다. Eq. (6)은 대상유역의 면적과 유로연장 만으로 특성속도를 산정할 수 있는 장점이 있으며, 김상단 등(2000)의 연구를 통하여 그 타당성을 입증된 바 있다. 수로의 단면을 구형으로 가정할 경우, 유로연장으로부터 구한 파속에 3/5을 곱하면 대상유역의 특성속도를 산정할 수 있다. 대상유역의 면적, 유로연장과 Eq. (6)

으로부터 산정한 특성속도를 Table 4에 나타내었다.

$$T_c = 0.76A^{0.38} \quad (6)$$

T_c : 집중시간(hr)

A : 유역면적(km^2)

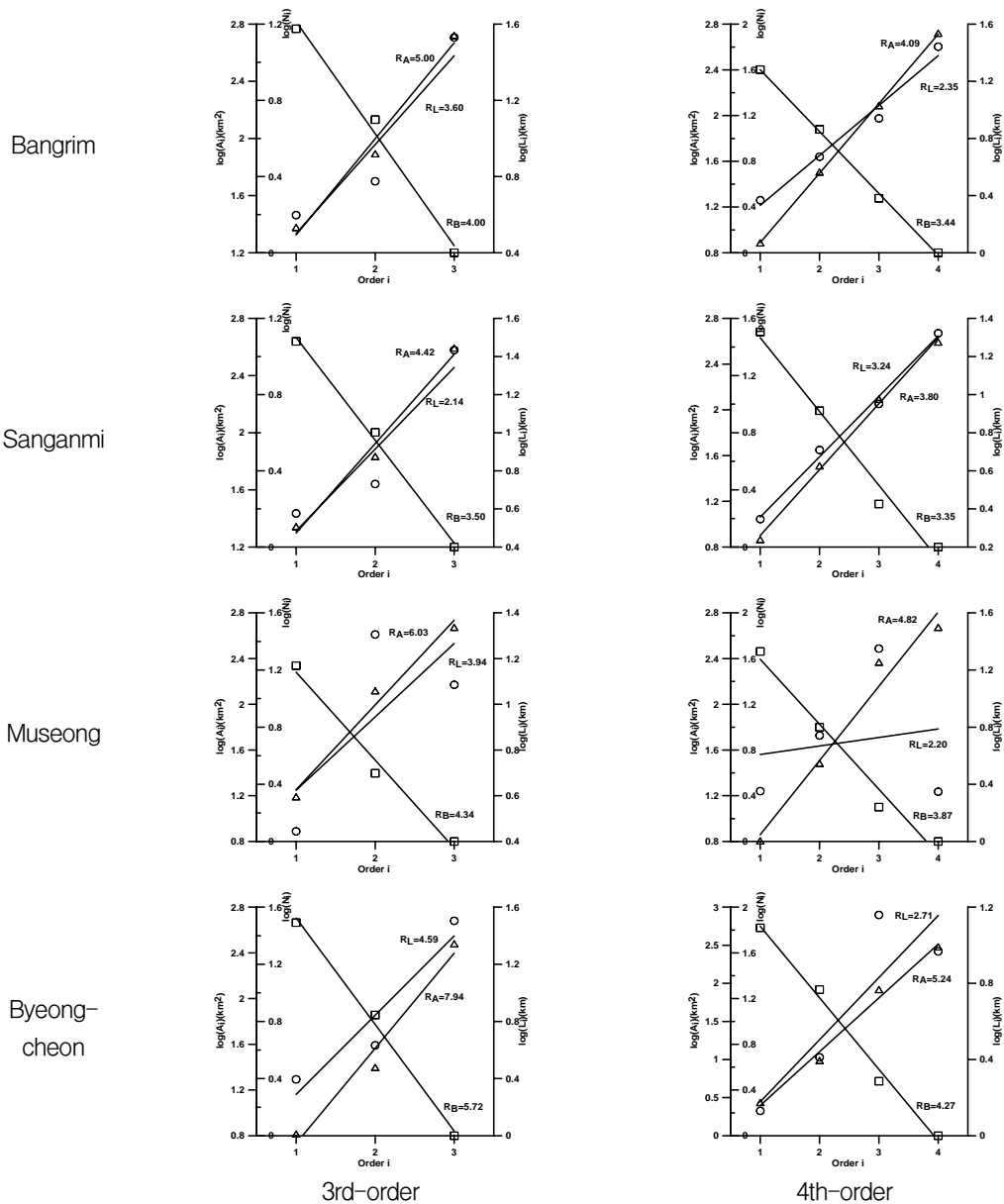


Fig. 4. Determination Process of Parameters by Stream Orders

Table 4. Geomorphologic Parameters of Target Areas

Stream	Basin	Area(km^2)	Length(km)	Velocity (m/s)
Pyungchang	Bangrim	519.69	51.85	1.056
	Sangnamni	396.25	44.20	0.998
Wicheon	Museong	472.53	42.83	0.905
	Byeongcheon	302.13	40.65	1.018

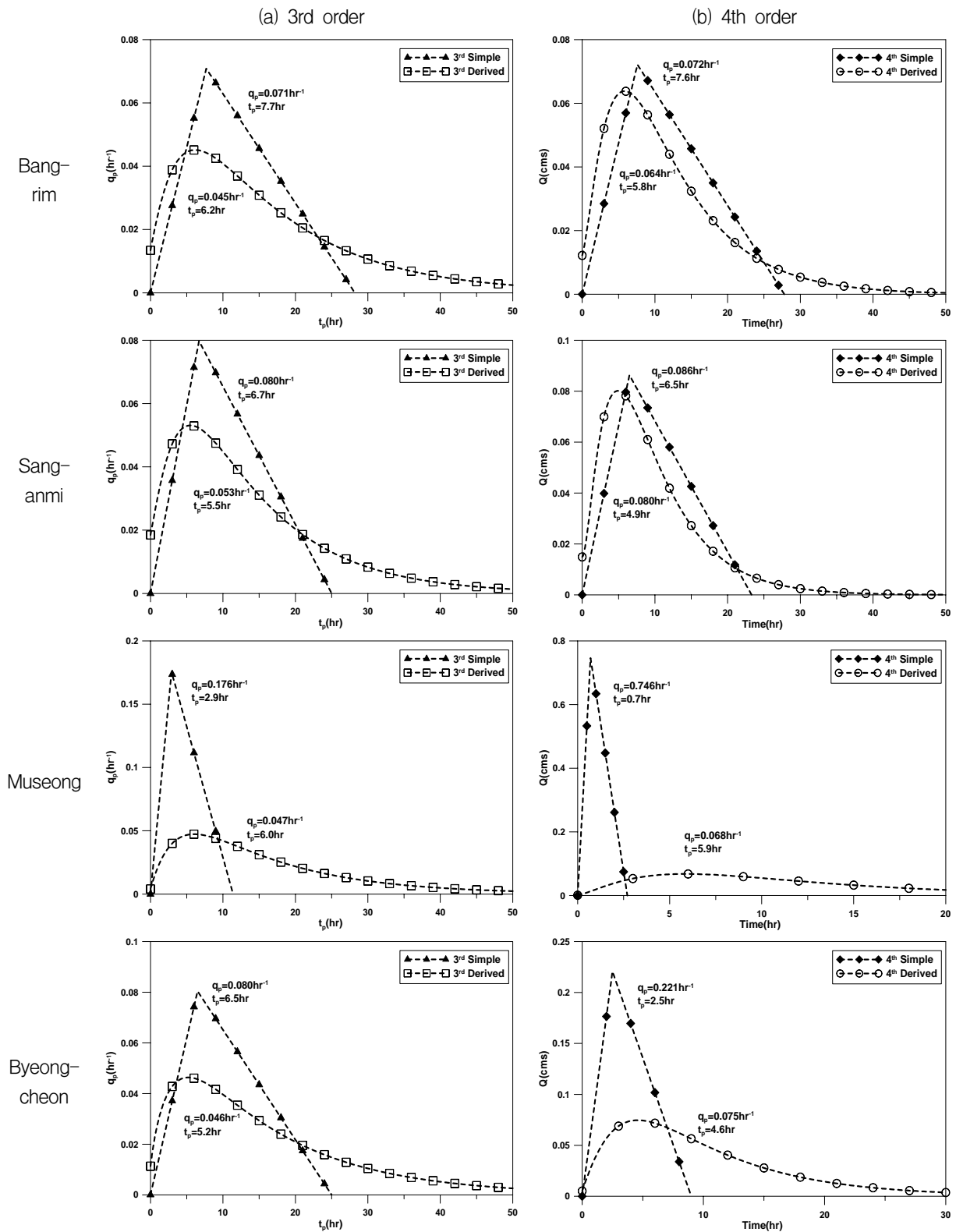


Fig. 5. Comparison of Derived and Simple Equations of GIUH

4.3 대상유역의 GIUH와 간략식 적용 및 결과

각 대상유역을 지도의 해상도에 따라 3, 4차 하천으로 정의하였으며, 정의된 하천 차수에 따라 GIUH 유도식과 간략식을 사용하여 순간단위도를 결정하였다.

Table 5는 각 유역에서 순간단위도를 결정하기 위해 필요한 지형인자와 유도식과 간략식을 사용하여 결정한 순간단위도의 첨두유량 및 첨두유량 발생시간을 나타내며, Fig. 5에서는 각각의 순간단위도를 비교하여 나타내었다. 모든 유역에서 간략식을 사용하였을 경우 유도식

보다 침투유량이 크게 산정되었다. 방림과 상안미 유역은 해상도를 높여 4차 하천으로 가정하여도 최고차 하천의 길이가 크게 변하지 않았으며, 간략식에서의 침투유량도 거의 비슷하게 산정되었다. 그러나 무성과 병천 유역은 해상도에 따라 최고차 하천길이가 각각 81.7 %와 70.9 % 감소하였으며, 이에 따라 침투유량이 각각 323.9 %와 176.3 % 높게 나타났다. 유도식은 최고차 하천길이가 무관하게 해상도를 높임에 따라 침투유량이 42~63 % 높게 산정되었다.

4.4 관측 유출수문곡선과의 비교

각 대상유역을 3차 하천 유역과 4차 하천유역으로 가정한 후, Table 6과 같은 1983년부터 1999년까지의 총 50개의 호우사상에 대하여 유도식과 간략식을 적용하여 유출수문곡선을 산정하였으며, 이를 관측된 수문곡선과 비교하였다. 단위도의 적용을 위한 유효우량은 관측수문곡선에서 기저유량을 분리하여 결정된 직접유출량을 사용하여 일정손실률법으로 산정하였다. Table 6은 적용한 각 호우사상의 특징을 나타낸다.

Table 5. IUH by the Derived and Simple Equation of GIUH

Basin	Stream order	R_B	R_L	R_A	\bar{L}_1 (km)	\bar{L}_Ω (km)	V (m/s)	Derived Eq.		Simple Eq.	
								q_p (hrs ⁻¹)	t_p (hr)	q_p (hrs ⁻¹)	t_p (hr)
Bangrim	3	4.00	3.60	5.00	3.96	33.88	1.056	0.045	6.2	0.071	7.7
	4	3.44	2.35	4.09	2.33	27.68		0.064	5.8	0.072	7.6
Sanganmi	3	3.50	3.24	4.42	3.77	27.17	0.998	0.053	5.5	0.080	6.7
	4	3.35	2.14	3.80	2.22	21.01		0.080	4.9	0.086	6.5
Museong	3	4.34	3.94	6.03	2.78	12.17	0.905	0.047	6.0	0.176	2.9
	4	3.87	2.20	4.82	2.25	2.23		0.068	5.9	0.746	0.7
Byeong-cheon	3	5.72	4.59	7.94	2.48	31.94	1.018	0.046	5.2	0.080	6.5
	4	4.27	2.71	5.24	1.35	9.28		0.075	4.6	0.221	2.5

Table 6. Applied Rainfall Events

Basin	No	Date	Duration (hr)	Depth (mm)	Direct runoff (mm)	Runoff ratio
Bangrim	1	84.07.02.15~07.05.03	60	216.9	182.4	0.841
	2	85.07.10.09~07.11.01	16	70.3	37.0	0.526
	3	85.08.16.18~08.17.20	26	47.2	21.6	0.458
	4	87.07.21.08~07.23.18	58	259.8	236.2	0.909
	5	88.07.09.04~07.10.03	23	50.9	49.6	0.974
	6	88.07.19.18~07.20.14	20	119.5	113.4	0.950
	7	91.07.07.07~07.07.21	14	40.5	16.4	0.406
	8	91.08.02.01~08.02.14	13	64.0	47.0	0.734
	9	92.08.26.18~08.27.19	25	116.4	76.0	0.653
	10	94.07.07.19~07.08.13	18	48.8	20.6	0.421
	11	95.07.15.15~07.16.14	23	58.6	25.0	0.426
	12	95.07.19.05~07.20.20	39	71.5	27.3	0.382
	13	95.08.08.17~08.09.12	19	136.3	79.7	0.585
	14	96.07.04.13~07.05.06	17	43.8	11.2	0.256
	15	97.07.01.01~07.02.09	32	125.9	83.3	0.662
	16	98.08.06.01~08.07.08	31	100.4	65.8	0.656

Table 6. Applied Rainfall Events(Continued)

Basin	No	Date	Duration (hr)	Depth (mm)	Direct runoff (mm)	Runoff ratio
Sanganmi	1	84.07.02.20~07.05.03	55	238.3	206.3	0.866
	2	85.07.10.10~07.11.01	15	78.8	46.8	0.593
	3	89.07.24.22~07.27.15	65	266.3	251.8	0.946
	4	90.06.20.12~06.21.18	30	108.5	98.8	0.910
	5	91.07.24.22~07.26.03	29	84.8	47.7	0.563
	6	91.08.02.01~08.02.14	13	71.7	53.1	0.741
	7	92.09.24.07~09.25.01	18	99.1	34.1	0.344
	8	94.07.07.19~07.08.13	18	43.5	23.1	0.531
	9	96.07.04.13~07.05.06	17	45.1	11.9	0.263
	10	96.07.21.13~07.22.14	25	75.8	40.1	0.529
	11	97.07.01.01~07.02.09	32	127.3	101.4	0.797
	12	98.08.14.17~08.16.06	37	95.7	64.1	0.670
Museong	1	86.07.21.07~07.21.22	15	47.5	19.6	0.413
	2	86.09.19.21~09.21.19	46	88.2	41.3	0.468
	3	90.06.19.17~06.21.20	51	55.0	24.0	0.437
	4	90.09.23.16~09.24.13	21	59.7	31.3	0.524
	5	94.05.14.05~05.15.05	24	44.4	9.8	0.221
	6	94.06.18.13~06.19.09	20	48.7	11.6	0.239
	7	94.08.28.10~08.29.03	17	35.6	6.2	0.173
	8	97.05.12.10~05.13.00	14	35.6	26.2	0.736
Byeong-cheon	1	83.09.03.00~09.03.23	23	22.8	16.0	0.701
	2	84.09.02.11~09.03.23	36	211.0	149.7	0.709
	3	86.07.21.07~07.21.22	15	50.5	19.1	0.378
	4	86.09.19.21~09.21.19	46	77.7	33.2	0.428
	5	89.07.11.07~07.12.20	37	52.4	30.7	0.585
	6	89.08.21.11~08.23.02	39	92.3	56.9	0.617
	7	90.06.19.17~06.21.21	52	49.8	19.8	0.397
	8	90.09.10.11~09.12.15	52	41.7	22.1	0.530
	9	90.09.23.16~09.24.13	21	58.3	30.5	0.523
	10	94.05.14.05~05.15.05	24	43.1	9.1	0.210
	11	94.06.18.13~06.19.09	20	48.5	11.1	0.229
	12	94.07.31.20~08.01.10	14	26.1	3.1	0.118
	13	94.08.28.10~08.29.03	17	34.9	5.8	0.165
	14	97.05.12.10~05.13.00	14	37.4	37.3	0.998

Table 6의 호우사상을 적용하여 각 방법별로 유출 수문곡선을 산정하여 관측수문곡선과 첨두유량을 비교하였다. Tables 7~10 은 방림, 상안미, 무성, 병천 유역에서 간략식과 유도식을 사용하여 산정한 유출수문곡선의 첨두유량을 관측값과 비교한 표이다. 방림 유역과 상안미 유역은 4가지 방법이 모두 관측값과 잘 맞는 것으로 나타났다. 무성 유역은 3차, 4차 간략식은 첨두유량을 지나치게 과대평가하였으며, 3차 유도식은

첨두유량을 과소평가하는 경향이 있었다. 4차 유도식에 의해 산정된 첨두유량은 관측값과 잘 맞는 것으로 나타났다. 병천 유역은 3차 간략식과 4차 유도식은 관측값을 잘 반영하고 있으며, 3차 유도식은 관측값에 비하여 작게 나타났고, 4차 간략식은 첨두유량을 크게 산정하는 경향이 있었다. 각 유역에서 관측 수문곡선의 첨두유량에 대한 각 방법별 모의 첨두유량의 비율 box-whisker로 나타낸 Fig. 6에서 각 유역에서 방법

별로 적합한 단위도 형태를 확인할 수 있다. Fig. 7은 모든 유역에서의 결과를 합쳐서 box-whisker 그래프를 그려서 각 순간단위도 방법에 따른 관측값과 모의값의 침투유량 차이를 나타내었다. 그 결과 4차 유도식이 유역에 상관없이 가장 안정적인 결과를 제공하는 것을 확인할 수 있었다.

각 유역에서 순간단위도 방법별로 유출율에 따른 관

측 침투유량에 대한 모의 침투유량의 비를 Fig. 8에 나타내었다. 그 결과 3차, 4차 유도식은 유출율에 따라서 경향성이나 모의 정확도의 차이가 나타나지 않으며 유출율에 상관없이 비교적 안정적인 값을 주는 반면, 간략식을 사용하였을 경우에는 모든 유역에서 유출율이 높을수록 관측값에 대한 모의된 침투유량의 비가 작아지는 것으로 나타났다.

Table 7. Comparison of Peak Discharges and Peak Times (Bangrim)

No	Peak discharge(<i>cms</i>)					Peak time(<i>hr</i>)				
	Observed	3rd order		4th order		Observed	3rd order		4th order	
		Simple	Derived	Simple	Derived		Simple	Derived	Simple	Derived
1	1,138	982 (86.3)	748 (65.7)	994 (87.3)	951 (83.6)	42	46.5	44.3	46.4	44.1
2	365	328 (89.9)	228 (62.5)	333 (91.2)	313 (85.8)	10	15.3	13.4	15.2	12.9
3	143	199 (139.2)	134 (93.7)	202 (141.3)	187 (130.8)	10	13.0	11.3	12.9	10.7
4	1,516	1,153 (76.1)	922 (60.8)	1,162 (76.6)	1,099 (72.5)	26	29.7	28.1	29.6	27.9
5	339	389 (114.7)	277 (81.7)	394 (116.2)	367 (108.3)	16	18.6	16.1	18.5	15.8
6	653	812 (124.3)	606 (92.8)	822 (125.9)	756 (115.8)	18	21.2	18.5	21.1	18.2
7	89	150 (168.5)	104 (116.9)	153 (171.9)	143 (160.7)	14	15.6	13.3	15.5	13.0
8	324	416 (128.4)	291 (89.8)	423 (130.6)	398 (122.8)	11	16.1	14.2	16.0	13.8
9	516	566 (109.7)	417 (80.8)	574 (111.2)	532 (103.1)	23	24.2	22.9	24.1	21.9
10	143	178 (124.5)	120 (83.9)	181 (126.6)	165 (115.4)	6	11.6	11.8	11.5	9.5
11	249	219 (88.0)	152 (61.0)	222 (89.2)	207 (83.1)	21	24.5	22.0	24.4	21.8
12	129	204 (158.1)	145 (112.4)	208 (161.2)	194 (150.4)	16	19.0	16.9	18.9	16.3
13	571	622 (108.9)	453 (79.3)	631 (110.5)	587 (102.8)	15	20.1	17.9	20.0	17.6
14	63	98 (155.6)	69 (109.5)	99 (157.1)	94 (149.2)	16	18.3	16.0	18.2	15.7
15	699	618 (88.4)	458 (65.5)	626 (89.6)	584 (83.5)	20	23.5	20.9	23.4	20.8
16	510	463 (90.8)	351 (68.8)	469 (92.0)	458 (89.8)	30	34.1	31.8	34.0	31.7

Table 8. Comparison of Peak Discharges and Peak Times (Sanganmi)

No	Peak discharge(<i>cms</i>)					Peak time(<i>hr</i>)				
	Observed	3rd order		4th order		Observed	3rd order		4th order	
		Simple	Derived	Simple	Derived		Simple	Derived	Simple	Derived
1	862	873 (101.3)	707 (82.0)	914 (106.0)	910 (105.6)	42	46.3	44.3	46.2	44.0
2	313	358 (114.4)	260 (83.1)	384 (122.7)	378 (120.8)	11	14.7	13.0	14.5	12.4
3	945	733 (77.6)	578 (61.2)	765 (81.0)	723 (76.5)	23	28.5	30.0	28.2	25.8
4	800	641 (80.1)	485 (60.6)	676 (84.5)	651 (81.4)	24	27.8	26.0	27.5	25.0
5	465	261 (56.1)	207 (44.5)	274 (58.9)	264 (56.8)	28	30.5	28.9	30.2	28.6
6	270	393 (145.6)	290 (107.4)	420 (155.6)	410 (151.9)	11.5	15.1	13.5	14.8	13.0
7	229	238 (103.9)	178 (77.7)	252 (110.0)	245 (107.0)	16	20.4	18.4	20.2	18.0
8	138	178 (129.0)	126 (91.3)	192 (139.1)	186 (134.8)	6	10.5	9.0	10.2	8.4
9	71	87 (122.5)	64 (90.1)	93 (131.0)	91 (128.2)	15	17.1	15.2	16.8	14.7
10	150	220 (146.7)	176 (117.3)	228 (152.0)	217 (144.7)	23	24.5	23.0	24.1	23.3
11	751	614 (81.8)	478 (63.6)	642 (85.5)	609 (81.1)	18	22.3	20.2	22.0	20.1
12	221	351 (158.8)	264 (119.5)	371 (167.9)	360 (162.9)	17	18.1	15.9	17.8	15.6

Table 9. Comparison of Peak Discharges and Peak Times (Museong)

No	Peak discharge(<i>cms</i>)					Peak time(<i>hr</i>)				
	Observed	3rd order		4th order		Observed	3rd order		4th order	
		Simple	Derived	Simple	Derived		Simple	Derived	Simple	Derived
1	173	299 (172.8)	113 (65.3)	492 (284.4)	155 (89.6)	14	10.4	13.4	8.4	13.0
2	199	279 (140.2)	153 (76.9)	462 (232.2)	181 (91.0)	43	41.6	44.1	38.6	44.1
3	182	290 (159.3)	100 (54.9)	539 (296.2)	141 (77.5)	10	10.6	13.4	8.0	13.1
4	274	404 (147.4)	164 (59.9)	751 (274.1)	223 (81.4)	11	10.7	15.5	7.5	14.6
5	69	157 (227.5)	56 (81.2)	301 (436.2)	78 (113.0)	25	19.5	22.7	17.1	22.1
6	89	193 (216.9)	69 (77.5)	345 (387.6)	96 (107.9)	20	14.8	17.8	12.2	17.5
7	47	104 (221.3)	37 (78.7)	200 (425.5)	51 (108.5)	19	14.2	17.1	11.4	16.9
8	291	399 (137.1)	153 (52.6)	623 (214.1)	211 (72.5)	11	10.3	12.5	8.4	12.3

Table 10. Comparison of Peak Discharges and Peak Times (Byeongcheon)

No	Peak discharge(<i>cms</i>)					Peak time(<i>hr</i>)				
	Observed	3rd order		4th order		Observed	3rd order		4th order	
		Simple	Derived	Simple	Derived		Simple	Derived	Simple	Derived
1	69	95 (137.7)	60 (87.0)	205 (297.1)	93 (134.8)	26	25.9	23.9	21.9	23.4
2	652	511 (78.4)	353 (54.1)	1,066 (163.5)	496 (76.1)	15	18.2	29.9	13.6	15.8
3	126	110 (87.3)	70 (55.6)	221 (175.4)	105 (83.3)	13	14.4	13.1	10.1	12.2
4	103	93 (90.3)	77 (74.8)	140 (135.9)	96 (93.2)	45	46.4	44.5	43.2	44.4
5	100	88 (88.0)	71 (71.0)	146 (146.0)	87 (87.0)	28	33.3	31.9	25.7	31.5
6	293	203 (69.3)	152 (51.9)	410 (139.9)	198 (67.6)	32	35.6	34.9	28.4	31.3
7	85	79 (92.9)	50 (58.8)	167 (196.5)	77 (90.6)	10	14.3	12.4	10.0	11.9
8	178	132 (74.2)	85 (47.8)	308 (173.0)	128 (71.9)	43	48.5	46.6	44.5	46.2
9	175	155 (88.6)	102 (58.3)	302 (172.6)	150 (85.7)	11	15.8	14.9	9.7	13.2
10	41	52 (126.8)	33 (80.5)	107 (261.0)	50 (122.0)	18	17.2	15.8	13.0	14.8
11	54	65 (120.4)	41 (75.9)	137 (253.7)	63 (116.7)	46	14.5	13.1	10.3	12.3
12	16	18 (112.5)	11 (68.8)	38 (237.5)	18 (112.5)	14	13.3	11.9	9.0	11.2
13	28	34 (121.4)	22 (78.6)	73 (260.7)	33 (117.9)	14	12.7	11.2	8.4	10.6
14	288	218 (75.7)	138 (47.9)	436 (151.4)	212 (73.6)	10	13.8	11.7	9.7	11.1

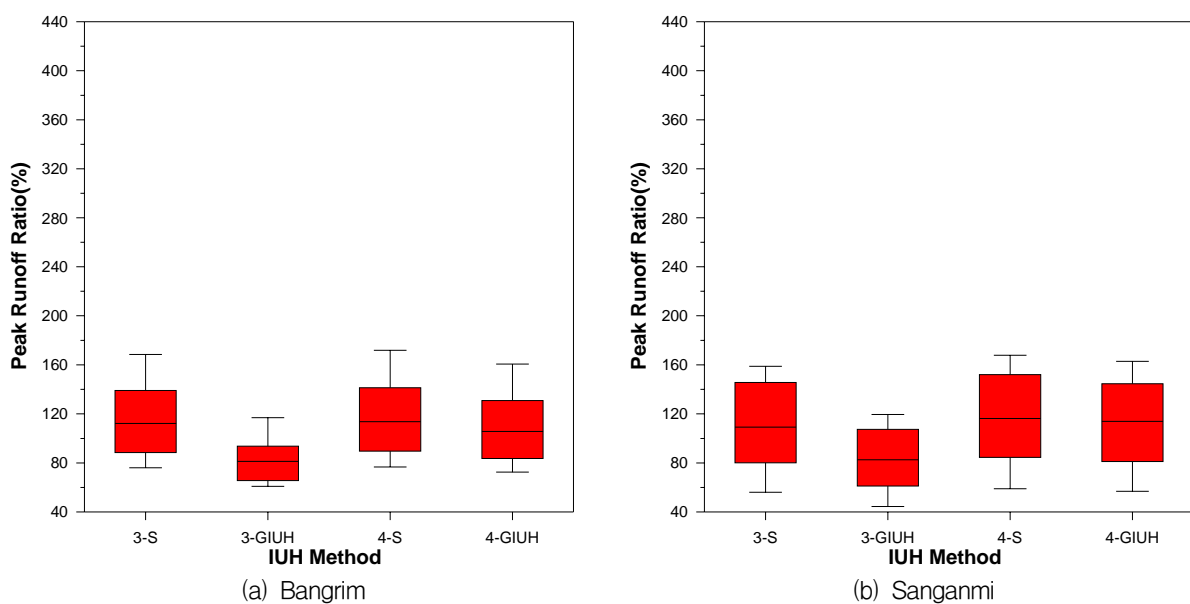


Fig. 6. Ratio of the Observed and Simulated Peak Discharges

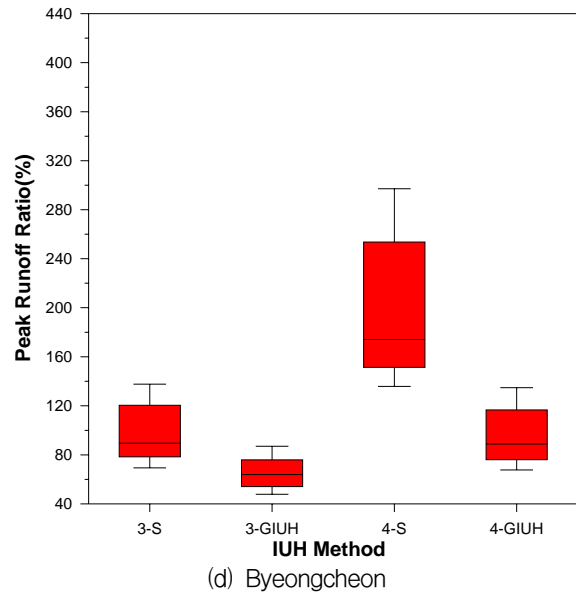
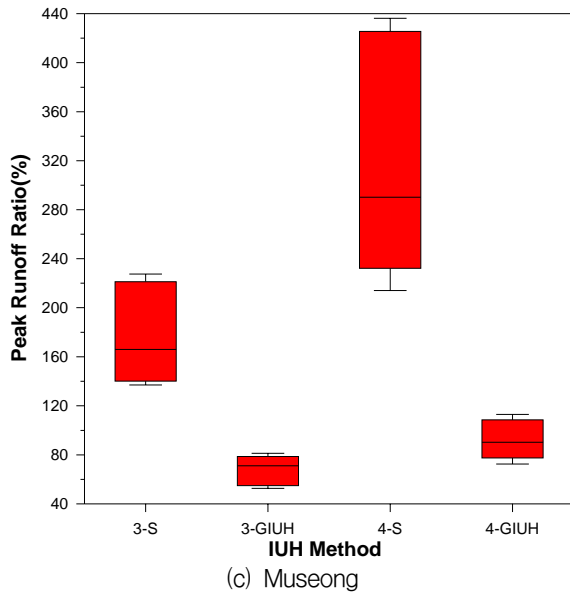


Fig. 6. Ratio of the Observed and Simulated Peak Discharges(continued)

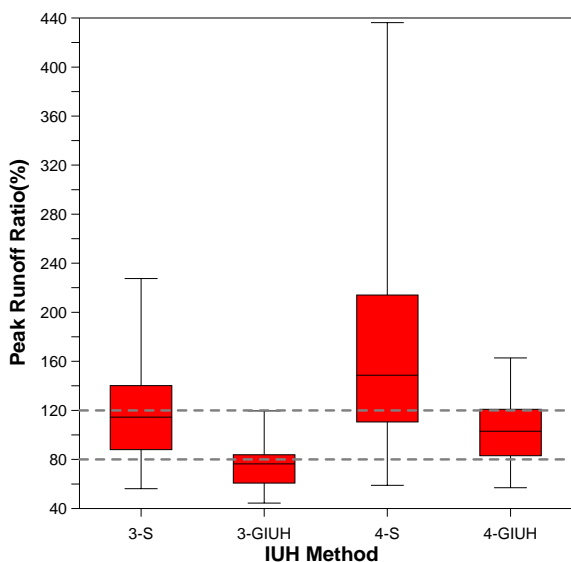


Fig. 7. Peak Runoff Ratios by the Derived and Simple Estimations of GIUH

5. 결 론

동일한 유역이라 할지라도 해상도에 따라 유역의 하천차수는 다르게 정의될 수 있다. 해상도를 향상시키면 유역의 최고차 하천차수는 증가하고, 최고차 하천길이는 짧아지며 길이비는 감소하게 된다. 삼각형 가정의 GIUH 간략식은 최고차 하천길이나 길이비의 함수로 이루어져 있어 해상도의 변화에 따라 단위도의 침투유량이 영향을 받을 수 있다. 즉, 최고차 하천길이가 짧아지면 침투유량은 증가하며, 길이비가 작아지면 침투유량은 감소한다. 일반적인 경우에는 최고차 하천길이의

감소에 의한 영향이 길이비의 감소로 일부 상쇄되어 침투유량의 변화가 크지 않다. 그러나 무성 유역처럼 해상도의 향상에 따라 최고차 하천길이가 극단적으로 짧아지는 유역에서는 간략식 사용시 침투유량을 과대평가하는 문제가 발생할 수 있다. 이에 본 연구에서는 다양한 유역 특성을 가진 4개 소유역에 대하여 해상도를 변경하여 3차와 4차 하천유역으로 가정하였으며, 각각의 유역에 대하여 GIUH 유도식과 간략식을 적용하여 유출수문곡선을 산정하였다. 또한 각 방법별로 산정된 유출수문곡선의 침투유량을 관측된 유출수문곡선의 침투유량과 비교하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 본 연구의 대상유역에서 해상도를 향상시킴에 따라 최고차 하천길이는 18.8 %~81.7 %까지 감소하였다.
- 2) 해상도를 높여 3차 하천에서 4차 하천으로 변경될 경우 유도식을 적용하면 단위도의 침투유량은 42.2 %~63.0 % 증가하며, 간략식을 적용하면 1.4 %~323.9 % 증가하였다.
- 3) 해상도가 변해도 최고차 하천길이의 변화가 작은 방림과 상안미 유역은 3, 4차 하천에서 간략식과 유도식 모두 관측값과 유사한 결과를 준다.
- 4) 해상도에 따라 최고차 하천길이의 변화가 큰 무성과 병천유역은 간략식을 사용하였을 경우 침투유량이 관측값에 비해 크게 산정되었으며, 정확도의 편차도 매우 크게 나타났다. 그러나 유도식을 사용할 경우 정확도의 편차가 작고 안정적인 결과를 주는 것으로 나타났다.

따라서 해상도에 따라 하천 차수가 변할 수 있는 유역에 간략식을 적용하여 유출수문곡선을 산정할 때는 홍수량이 과대평가 될 수 있다는 점에 주의하여야 하

며, 미세측 유역에서 순간단위도를 산정할 때는 간략식 보다는 유도식을 사용하는 것이 모형의 정확성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

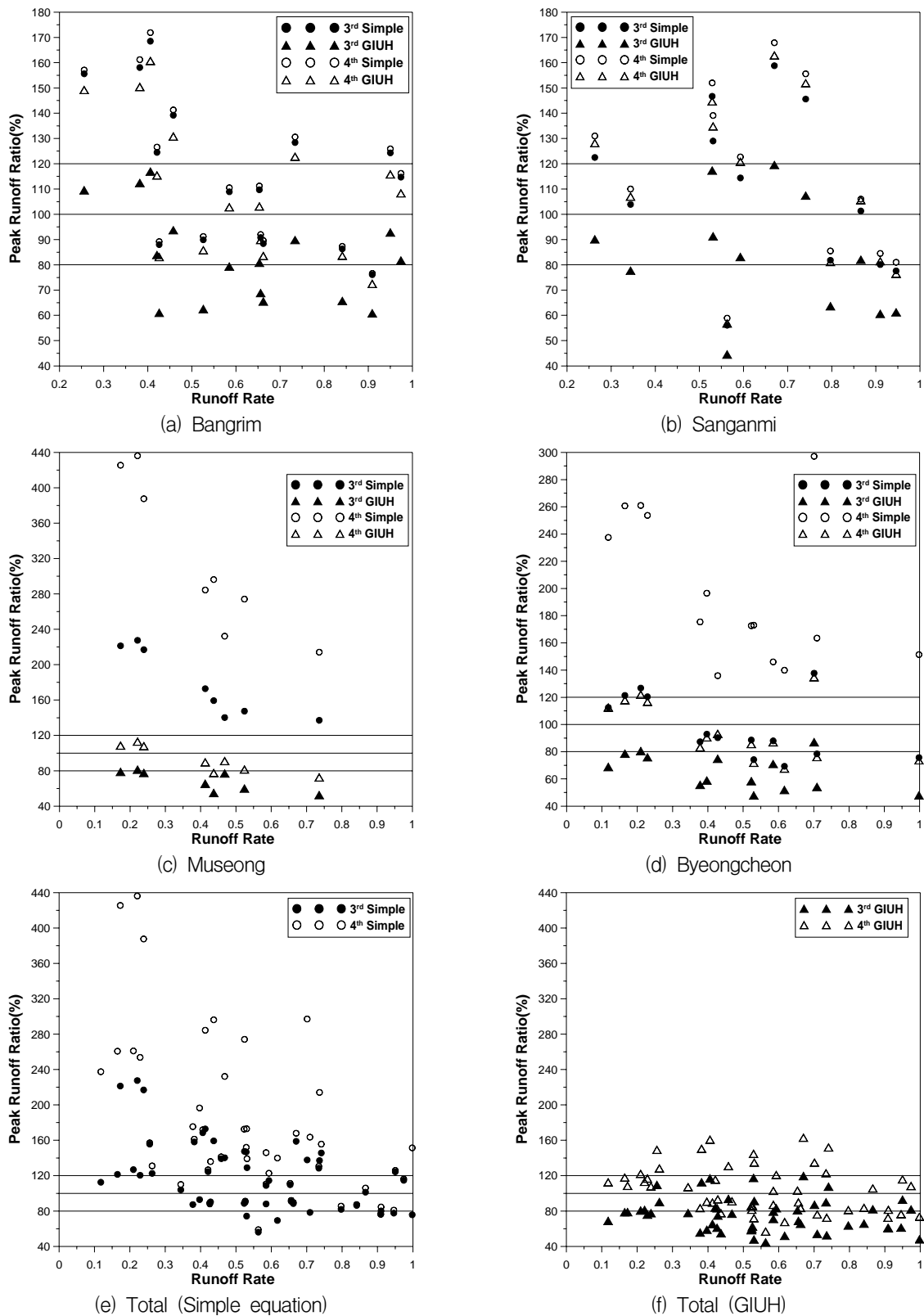


Fig. 8. Ratios of Observed and Simulated Peak Discharges According to the Runoff Ratio

감사의 글

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업(06건설핵심B01)의 연구비 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- 김남원 (1998). 미계측 유역의 확률홍수량 추정을 위한 동역학적 홍수빈도모형개발. 박사학위 논문, 강원대학교, pp. 118-121.
- 김상단, 유철상, 윤용남 (2000). “지형형태학적 순간 단위도의 특성속도에 대한 고찰.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제33권, 제3호, pp. 315-330.
- 김주철, 윤여진, 김재한 (2005). “Nash 모형의 지체 시간을 이용한 GIUH 유도.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제38권, 제10호, pp. 801-810.
- 김진훈, 배덕효 (2006). “한강유역 한계유출량 산정.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제2호, pp. 151-160.
- 김태균 (1987). 지형태학적 순간단위도 이론을 이용한 하천유역의 강우 유출 해석. 석사학위논문, 고려대학교.
- 문장원, 유철상, 김중훈 (2001). “동역학적 홍수빈도 모형의 적용 및 해상도 영향 분석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제34권, 제1호, pp. 81-90.
- 조홍재, 이상배 (1990). “수문응답의 지형학적 합성 방법에 관한 연구.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제10권, 제1호, pp. 99-108.
- 최현, 김부길, 이지형, 강인준 (2004). “원격탐사자료를 활용한 지형학적 순간단위유량도 작성/” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제24권, 제2B호, pp. 111-122
- 허창환, 이순탁 (2002). “하천유역에서 GIS를 이용한 GIUH 모형의 해석/” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제3호, pp. 321-330.
- 한국수자원관리 종합정보 홈페이지 (<http://www.wamis.go.kr>).
- 함대현, 주진걸, 진환돈, 김중훈 (2008). “4차 하천에서의 GIUH의 유도 및 초기확률의 보정에 관한

- 연구.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제2호, pp. 229-239.
- Bhaskar, N. R., Parida, B. P., and Nayak, A. K. (1997). “Flood estimation for ungaged catchments using the GIUH.” *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 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
- 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., Jauhainen, 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. (2006). “Flood estimation by GIUH based Clark and Nash models.” *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, Vol. 11, No. 6, pp. 515-525
- 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*, ASCE, Vol. 121, No. 4, pp. 287-293
- (논문번호:08-97/접수:2008.09.02/심사완료:2008.10.06)