韓國水資源學會論文集
第36卷 第1號 · 2003年 2月
pp. 23~32

지형학적 인자를 고려한 대표순간단위도 추정

The Estimation of Representative IUH Considering Geomorphological Factors

김 주 철* / 정 관 수** / 김 재 한***
Kim, Joo Cheol / Jung, Kwan Sue / Kim, Jae Han

Abstract

This study aims at the derivation of representative IUH considering geomorphological factors. Nash model has been combined with geomorphological IUH to estimate the parameters of representative IUH. For this purpose, total 18 storm events which have been recorded upstream parts of Sangye control point in Bocheong river watershed, one of the tributary of Keum river basin, have been analysed. The results show that n value is 3.17 and K value is 7.01. And the results also show that IUHs driven by the method of moments vary with each storm events significantly. As a result of this study the IUH could be median distribution which is representative IUH among each storm events. It is believed that this result considered geomorphological factors is more superior and physically meaningful comparing with the existing methods.

Keywords : representative IUH, Nash model, geomorphological IUH

요 지

본 연구는 지형학적 인자를 이용하여 유역 대표순간단위도의 유도를 목적으로 한다. 이를 위하여, Nash 모형을 지형학적 순간단위도 모형과 결합하여 대표순간단위도의 매개변수를 추정하고자 하였다. 금강수계의 지류인 보청천 유역의 산계지점을 대상유역으로 선정하여 총 18개 호우사상에 대한 분석을 수행하였다. 그 결과 n은 3.17, k는 7.01로 나타났으며, 모멘트법에 의해 유도된 순간단위도는 호우사상별로 상당한 차이를 보이고 있었다. 본 연구로부터 얻어진 대표순간단위도는 각 호우사상별로 얻어진 단위도들을 대표할 수 있는 중앙치로 나타났으며, 기왕의 방법들과 비교했을 때, 지형학적 요소를 고려한 본 연구방법의 우월성 및 물리적 의미가 크다고 판단된다.

핵심용어 : 대표순간단위도, Nash 모형, 지형학적 순간단위도

* 충남대학교 토목공학과 박사과정
Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Chungnam National Univ., Daejeon 305-764, Korea
(E-mail : kjoocheol@hanmail.net)
** 충남대학교 토목공학과 조교수
Assistant Professor, Dept. of Civil Engrg., Chungnam National Univ. Daejeon 305 764, Korea
(E-mail : ksjung@cnu.ac.kr)
*** 충남대학교 토목공학과 교수
Professor, Dept. of Civil Engrg., Chungnam National Univ. Daejeon 305-764, Korea
(E-mail : kjh@cnu.ac.kr)

1. 서 론

강우로부터 유출로의 변환과정은 다양한 요소들로 구성된다. 또한 상당한 불확실성을 내포하고 있어 적절한 가정이나 단순화를 통한 분석을 요구한다. 이와 같은 강우-유출 현상 모의에 일반적으로 적용되는 접근법 중의 하나는 대상 유역에 대한 응답함수의 유도이다. 강우-유출 과정의 대표적인 응답함수로는 순간단위도를 들 수 있다.

유역 응답함수로서 순간단위도에 대한 연구는 Clark (1945)에 의하여 그 개념이 정의된 이래로 여러 가지 접근법을 통하여 수행되어 오고 있다. Nash(1957), Dooge(1959), Diskin(1964) 등은 각종 개념적 순간단위도를 제안한 바 있다. 순간단위도에 대한 다른 접근법으로서 Rodriguez-Iturbe 등(1979)은 유역의 지형학적 구조와 수문학적 응답구조를 이론적으로 결합한 지형학적 순간단위도(GIUH) 모형을 처음으로 제시하였고, 이는 Gupta 등(1980)에 의하여 일반화되었다. Rosso(1984)는 Nash 모형과 GIUH 모형에 대한 특성 분석을 통하여 개념적 모형에 의한 지형학적 순간단위도의 재현성을 보여주었다. 국내에서는 이정식(1987), 조홍제 등(1990), 성기원(1999) 및 Fractal 이론을 이용한 홍일표 등(1999)에 의하여 지형학적 순간단위도에 대한 연구가 수행되어 오고 있다. 상기 방법들은 유역 내 단일 호우 사상에 의하여 순간단위도의 매개변수를 추정하거나, 지형학적 요소들을 이용한 합성단위도를 유도하고자 함으로써 그 적용성을 검토하고자 하였다. 또한 국내에서 김재한(1979)은 복합호우사상 자료들로부터 대표단위도를 도출하고자 시도하였고, 이후 김재형 등(1986)은 각 호우사상별로 도출한 Nash 모형의 매개변수를 평균화 및 시행착오 방법에 의하여 그 대표치를 산정 하고자 하였다.

일반적으로 복합호우사상 자료들로부터 유도된 단위도들은 관측자료의 오차나 유역 거동의 비선형성 등으로 인하여 일치하는 경우가 거의 없다. 유역의 대표단위도를 작성하기 위한 방법으로는 호우사상별 단위도의 첨두값과 첨두시간의 산술평균치를 대표단위도 첨두값의 좌표로 하여 다른 단위도의 형태와 비슷하게 도시하여 결정하는 단순평균법과 첨두시간을 일치시킨 후 각 시점에서의 중앙값으로 결정하는 첨두시간조정중앙값법 등 각종 방법이 알려져 있으나 객관적 기준을 제시하지는 못하고 있다. 그러나 임의 유역에서 순간단위 유효우량이 발생할 경우, 대상 유역에는 동일한 모양으로 단일한 순간단위도가 고유하게 존재하므로(Rosso, 1984) 본 연구에서는 이와 같은 조건을 인용하여, 다음과 같이 유역의 대표순간단위도를 유도하고자 한다. 개념적 순간단위도인 Nash 모형으로부터 비교적 단순한 모형의 구조를 수립하고, GIUH 모형과의 특성 분석을 통하여 매개변수를 추정한다. 이를 위하여 우선 실제 호우사상들에 대한 유출 분석을 통하여, 두 모형간의 상관성을 분석한다. 매개변수 추정에는 두 모형간의 관계식을 적용하고, 호우사상별 Nash 모형 매개변수의 도수분포 분석과 유출 분석 결과 및 합성단위도법에 의해 산정된 첨두값과 첨두시간과의 비교를 통하여 추정치의 타당성을 검정한다. 이렇게 유도된 대표순간단위도에 의하여 모의된 첨두유량과 첨두발생시간을 실측치와 비교하여 실제사상에 대한 적용성 분석을 수행한다.

2. 기본 이론

2.1 순간단위도 모형

개념적 순간단위도인 Nash 모형은 유역의 수문학적 응답과정을 n개의 균등 선형저수지 계열을 통한 추적으로써 다음과 같이 모의한다.

$$u(t)=\frac{1}{k\Gamma(n)}\left(\frac{t}{k}\right)^{n-1}e^{-\frac{t}{k}} \tag{1}$$

여기에서 n은 선형저수지의 개수, k는 선형저수지의 저류상수 그리고 $\Gamma(\cdot)$는 Gamma함수이다. 식 (1)은 유역의 단위응답함수로서 n과 k^{-1}이 각각 형상(shape) 매개변수와 축척(scale) 매개변수에 해당하는 2매개변수 Gamma분포 확률밀도함수와 일치하는 것을 알 수 있다. 식 (1)의 두 매개변수는 모멘트법을 이용하여 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$n=\frac{(Q'_1-I'_1)^2}{Q_2-I_2} \tag{2}$$

$$k=\frac{Q_2-I_2}{Q'_1-I'_1} \tag{3}$$

여기에서 Q'_1, I'_1는 각각 직접유출수문곡선과 유효강우주상도의 원점에 대한 1차 모멘트이고 Q_2, I_2는 면적 중심에 대한 2차 모멘트이다.

Strahler의 차수분류법에 따라 차수가 Ω인 유역 내 물 입자의 시간이력을 연속시간형 Markov과정으로 가정할 경우, 다음과 같은 GIUH 모형을 유도할 수 있다.

$$u(t)=\sum_{\omega=1}^{N}\theta_{\omega}(0)\frac{d\phi_{\omega N}(t)}{dt} \tag{4}$$

여기에서 $N=\Omega+1$로서 유역 출구상태이고 $\theta_{\omega}(0)$는 차수별 초기상태확률이다. $\phi_{ij}(t)$는 연속시간형 Markov가정에 의한 간격천이확률로서 상태 i에서 처음 시작한 과정이 시점 t에서 상태 j에 도달할 확률을 의미한다. 임의 차수 하천의 체류시간이 지수분포 ($p_T(t)=\lambda_i e^{-\lambda_i t}$)를 따른다고 가정할 경우, 식 (4)는 다음과 같은 세 개의 매개변수로 구성된다.

$$\theta_{\omega}(0)=f_1(R_B,R_A)=\frac{A_{\omega}^{*}}{A} \tag{5}$$

$$p_{ij}=f_2(R_B)=\frac{N_{ij}}{N_i} \tag{6}$$

$$\lambda_i=f_3(\nu,L_{\Omega},R_L) \tag{7}$$

여기에서 $f_i(\cdot)$는 일반함수, R_B, R_L, R_A는 Horton 차수비로서 각각 분기율, 하천길이비 및 유역면적비, ν는 유출속도, 그리고 L_{Ω}는 최고차수 하천 길이이다. A는 총유역 면적, A_{ω}^{*}는 ω차 하천으로 직접 배수되는 유역 면적, N_i는 i차 하천의 총개수 그리고 N_{ij}는 j차 하천과 합류하는 i차 하천의 개수로서 식 (5), (6)의 초기상태확률 및 상태천이확률은 대상유역의 지형도로부터 직접 결정될 수 있다. 하지만 식 (7)의 상태별 평균지체 시간의 역은 동적 매개변수인 유출속도의 함수로서 직접 결정이 불가능하다. Rodriguez-Iturbe 등(1979)은 홍수 유출발생 시 유역 전반에 대하여 균등한 유출속도를 가정한 바 있다. 이 가정을 따를 경우, 평균 유출속도는 다음과 같이 추정 할 수 있다.(이정식 등, 1987)

$$\nu=\frac{1}{t_L}\left[\sum_i p(r_i)\left(\sum_{k=i}^{\Omega}\overline{L}_k\right)\right] \tag{8}$$

여기에서 t_L은 유역지체시간, $p(r_i)$는 경로 선택확률 그리고 $\overline{L}_k$는 k차 하천의 평균길이이다. 식 (2), (3)의 곱과 식 (8)의 유역지체시간은 순간단위도의 원점에 대한 1차 모멘트와 일치함을 알 수 있다.(Nash, 1959)

2.2 순간단위도의 특성 분석

순간단위도의 가장 중요한 특성으로는 첨두값(q_p)과 첨두시간(t_p)을 들 수 있다. Nash 모형의 경우 첨두값과 첨두시간은 식 (1)의 1계 도함수로부터 다음과 같이 해석적으로 유도할 수 있다.

$$q_p=\frac{1}{k}\frac{(n-1)^{n-1}}{\Gamma(n)}e^{-(n-1)} \tag{9}$$

$$t_p=(n-1)k \tag{10}$$

하지만 식 (4)의 GIUH 모형은 지수함수들의 합의 형태로 이루어져 있어 도함수의 해석해를 구하는 것이 불가능하다. Rodriguez-Iturbe 등(1979)은 자연유역에서 발생 가능한 지형학적 인자와 유출속도의 126개 모의 조합에 의한 강우-유출 시험을 통하여 첨두값과 첨두시간에 대한 다음과 같은 회귀식을 유도하였다.

$$q_p=1.31R_L^{0.43}L_{\Omega}^{-1}\cdot\nu \tag{11}$$

$$t_p=0.44\left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0.55}R_L^{-0.38}L_{\Omega}\cdot\nu^{-1} \tag{12}$$

식 (11), (12)의 곱은 다음과 같은 무차원 함수를 구성한다.

$$IR=0.58\left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0.55}R_L^{0.05} \tag{13}$$

식 (13)은 동적 매개변수인 유출속도에 독립적인 관계식으로서 대상 유역의 수문학적 응답특성을 지형학적 인자인 Horton 차수비 만의 함수로서 표현하고 있다.

동일 유역에 대하여 각종 이론에 의하여 구하여진 순간단위도(핵함수, Kernel function)는 각 이론이 갖고 있는 물리적 의미가 틀리지 않다면 합동(合同)의 성질을 가지게 된다. 이와 같은 성질은 이미 Rosso (1984)에 의하여 밝혀진 바 있으며, 본 연구에서도 이를 인용하여 식 (14)를 Nash 모형의 대표매개변수 추정에 이용하였다.

$$\frac{(n-1)^n}{\Gamma(n)}e^{-(n-1)}=0.58\left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0.55}R_L^{0.05} \tag{14}$$

본 연구에서 매개변수 추정을 위하여 이용한 순간단위도는 여러 차례 검증된 바 있는 지형학적 순간단위도(이정식 등, 1987, 조홍제 등, 1990, 김재한 등, 1993,

이혁규 등, 1995) 모형으로써, 식 (14)는 Nash 모형과 GIUH 모형을 적분하여 이들을 합동(合同)으로 놓을 경우 얻어질 수 있다. 여기에서 적분 구간은 시간축 상의 원점으로부터 첨두시간까지이다. 적분구간의 상한계인 첨두시간은 편의상 취한 것이며, 실제로 적분 구간의 상한계는 어떠한 값을 택하여도 핵함수가 가지고 있는 성질과 무관하다.

식 (14)는 형상매개변수(n)에 대한 해석적 관계식을 제공하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 추정 수행에 시행착오법을 적용하였다. 식 (14)로부터 형상 매개변수(n)가 결정되면 순간단위도 수문곡선 하의 면적은 1.0이 되어야 한다는 조건에 따라 축척매개변수(k)는 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$k=\frac{t_L}{n} \tag{15}$$

3. 대상유역 및 적용사상

3.1 대상유역의 지형학적 인자

본 연구의 대상유역은 국제수문개발계획(IHP) 시험유역 중의 하나인 보청천 유역이다. 유역 출구로는 산계 수위표 지점을 선정하였다. 대상유역의 지형학적 인자들은 조홍제 등(1990)과 서진호(1996)에 의하여 1/50,000 지형도로부터 분석된 자료를 기초로 하여 산정 하였다. 하천 차수분류에는 Strahler의 차수분류법을 적용하였다. 산계 수위표 지점의 지형학적 인자 및 차수별 평균하천길이는 표 1, 2와 같고 GIUH 모형의 매개변수인 초기상태확률과 상태천이확률은 표 3, 4와 같다.

3.2 적용사상의 개요

산계 수위표 지점의 1990년~2000년 기간에 대한 호우사상자료를 수집하였다.(건설부, 1990-2000) 이 중 자료의 신뢰성에 따라 총 18개 사상을 선택하여 분석을 수행하였다. 호우사상별 기저유출 분리는 수평직선 분리법에 의하여 수행하였고, 유효우량 산정에는 Φ-지수법을 이용하였다.

4. 적용 사례

4.1 유출 분석

호우사상자료들에 대한 유출 분석을 위하여, 각 사상

표 1. 산계 수위표 지점의 지형학적 인자

유역면적(㎢)	유로연장(㎞)	유로중심장(㎞)	유역차수	R_B	R_A	R_L
475.68	49.00	22.51	6	3.40	3.77	1.88

표 2. 차수별 평균하천길이

차수	1	2	3	4	5	6
평균길이(㎞)	0.837	1.574	2.732	8.500	7.500	19.400

표 3. 초기상태확률

θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6
0.5093	0.1830	0.1157	0.1030	0.0610	0.0280

표 4. 상태 천이확률

p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{23}	p_{24}
0.716	0.180	0.068	0.017	0.019	0.818	0.090
p_{25}	p_{26}	p_{34}	p_{35}	p_{36}	p_{45}	p_{56}
0.028	0.064	0.680	0.040	0.280	1.000	1.000

표 5. 호우사상별 매개변수

연도	일시	Nash		GIUH	
		n	k(hr)	t_L(hr)	ν(m/sec)
90	7.14.	4.07	3.80	15.45	0.57
	8.31.	4.93	4.30	21.19	0.42
	9.11.	1.46	14.45	21.05	0.42
91	7.11.	3.33	5.12	17.05	0.52
92	8.14.	3.50	10.15	35.52	0.25
	8.24.	2.66	10.60	28.22	0.31
	9.24.	2.40	16.11	38.61	0.23
94	8. 1	3.62	6.00	21.71	0.41
97	6.24.	2.26	5.97	13.48	0.65
98	6.24.	3.40	7.97	27.15	0.32
99	6.23.	1.32	13.31	17.54	0.50
	7.27.	2.18	14.64	31.85	0.28
	8. 2.	1.89	13.64	25.79	0.34
	9. 9.	1.30	14.40	18.74	0.47
	9.22	1.50	10.18	15.30	0.58
2000	6.26.	1.60	7.57	12.13	0.73
	6.30.	4.11	3.54	14.55	0.61
	7.30.	2.92	8.47	24.75	0.36

표 6. 호우사상별 첨두값과 첨두시간

연도	일시	Nash		GIUH	
		q_p(㎜/hr)	t_p(hr)	q_p(㎜/hr)	t_p(hr)
90	7.14.	0.058	11.666	0.050	11.131
	8.31.	0.046	16.899	0.037	15.106
	9.11.	0.035	6.647	0.037	15.106
91	7.11.	0.049	11.930	0.046	12.201
92	8.14.	0.024	25.375	0.022	25.378
	8.24.	0.028	17.596	0.027	20.466
	9.24.	0.020	22.554	0.020	27.585
94	8. 1	0.040	15.720	0.036	15.474
97	6.24.	0.056	7.522	0.058	9.761
98	6.24.	0.031	19.128	0.028	19.827
99	6.23.	0.042	4.259	0.044	12.689
	7.27.	0.023	17.275	0.025	22.659
	8. 2.	0.028	12.140	0.030	18.660
	9. 9.	0.040	4.320	0.042	13.499
	9.22	0.048	5.090	0.051	10.939
2000	6.26.	0.060	4.542	0.065	8.691
	6.30.	0.062	11.009	0.054	10.401
	7.30.	0.033	16.262	0.032	17.624

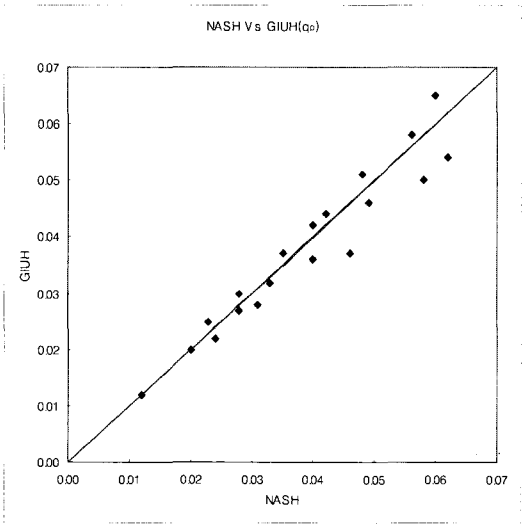

그림 1. 첨두값의 산점도

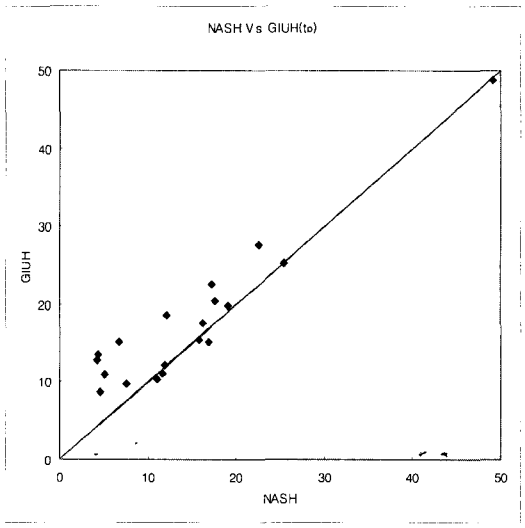

그림 2. 첨두시간의 산점도

별 매개변수를 추정하고, 첨두값과 첨두시간을 산정 하였다. Nash 모형의 경우 식 (2), (3)을 이용하여 두 매개변수를 추정하였고 GIUH 모형의 동적 매개변수인 유출속도는 식 (8)을 이용하여 추정하였다. 식 (8)의 차수별 평균하천길이는 표 2의 값을 적용하였고, 경로선택확률은 표 4를 이용하여 산정 하였다. 첨두값 및 첨두시간은 식 (9)~(12)를 이용하여 산정 하였다. 식 (11), (12)의 Horton 차수비는 표 1의 값을 적용하였

다. 사상별 매개변수 추정결과 및 첨두값과 첨두시간 산정 결과는 표 5, 6과 같고 첨두값과 첨두시간에 대한 동일 사상별 산점도는 그림 1, 2와 같다.

그림 1, 2에서 보듯이 두 모형의 호우사상별 첨두값은 상당히 일치하는 경향을 보이지만, 첨두시간은 다소 분산된 경향을 보인다. 주목할 것은 첨두시간의 경우 일치선에 대한 편차가 위쪽에 편중되어 있는 형태를 보이는 것이다. 이것은 동일 사상에 대하여 GIUH 모형이 Nash 모형에 비하여 첨두시간을 비교적 길게 평가함으로 해석할 수 있다. 이러한 결과는 GIUH 모형의 동적 매개변수인 유출속도의 과소 추정에 기인한 것으로, 평균유출속도 가정의 타당성에 대한 검증이 필요한 것으로 판단된다. 또한 Rodriguez-Iturbe 등(1979)에 의하여 모의 강우-유출 시험으로부터 유도된 식 (11), (12)의 국내 유역 적용성에 대한 평가가 이루어져야 할 것으로 보인다.

4.2 대표순간단위도 추정

호우사상들에 대한 유출 분석 결과, 첨두값과 첨두시간 모두 완전히 일치하지는 않음을 알 수 있었다. 하지만 두 모형간에 비교적 큰 상관성을 보임으로 식 (14)를 이용하여 대표순간단위도의 매개변수를 추정하였다. 앞서 언급한 바와 같이 식 (14)는 형상매개변수(n)에 대한 해석적 관계식을 제공하지 않으므로 본 연구에서는 표 1의 Horton 차수비를 적용하여 우변항을 산정한 후, 시행착오법을 이용하여 추정을 수행하였다. 이렇게 결정된 형상 매개변수와 호우사상자료로부터 산정된 유역평균지체시간을 식 (15)에 적용하여 축척 매개변수(k)를 추정하였다. 그 결과 n은 3.17, k는 7.01로 나타났다.

추정치의 타당성 검정을 위하여, 표 5의 호우사상별 Nash 모형 매개변수에 대한 도수분포도를 작성하였다. 도수분포도 상에서 두 매개변수의 추정치들은 다소 편위된 경향을 보인다. 특히 n값의 상대도수는 1~1.5 구간에서 가장 큰 값으로 나타났는데, 이 구간의 사상들은 대부분 1999년 한 해에 걸쳐 발생한 것으로 해당 기간 자료들의 이질성은 수위-유량 곡선에 의한 것으로 보인다. 이러한 영향을 k값의 말단부 구간 상대도수들에서도 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서 지형학적 인자를 이용하여 추정한 매개변수들의 타당성을 인정할 수 있을 것으로 판단된다. 두 매개변수의 도수분포도는 그림 3, 4와 같다.

대표단위도의 첨두값과 첨두시간을 산정 하여, 표 6의 호우사상별 평균치들 및 합성단위도법인 Snyder 방법, Nakayasu 방법 그리고 수정 Nakayasu 방법에 의해 산정 된 결과들과 비교하였다. Snyder 방법의 매개변수는 한국건설기술연구원(1989)에서 제시한 값을 적용하였고, 수정 Nakayasu 방법은 건설부(1992)에서 국내 자료를 이용하여 수정한 관계식을 적용하였다. 그 결과는 표 7과 같다. 유출 분석에 의한 호우사상별 평균치들은 대표단위도의 산정치들과 매우 유사하게 나타났다. Nash 모형의 경우 양자 모두 거의 유사한데 비하여, GIUH 모형은 전 절과 마찬가지로 첨두시간이 다소 길게 나타남을 알 수 있다. 합성단위도법에 의한 결과들은 세 방법 모두 대표단위도의 산정치들에 비하여 큰 첨두값과 짧은 첨두시간을 보여주고 있다. 이것은 k값 추정에 사용된 유역평균지체시간이 너무 길게 산정 되었기 때문으로 보인다. 본 연구에서는 유효우량

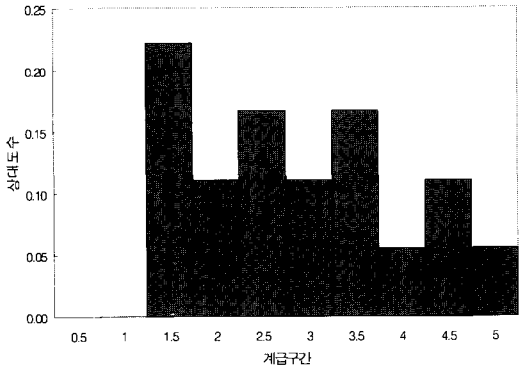

그림 3. n의 도수분포도

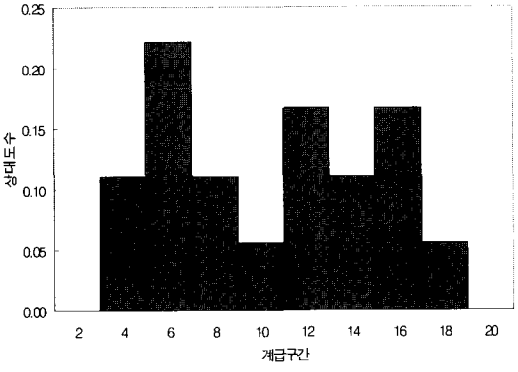

그림 4. k의 도수분포도

표 7. 첨두치 및 첨두시간 비교

	대표 단위도	Nash	GIUH	Snyder	Nakayasu	수정 Nakayasu
q_p(㎜/hr)	0.037	0.039	0.038	0.074	0.142	0.088
t_p(hr)	15.21	14.69	17.68	7.06	4.04	9.77

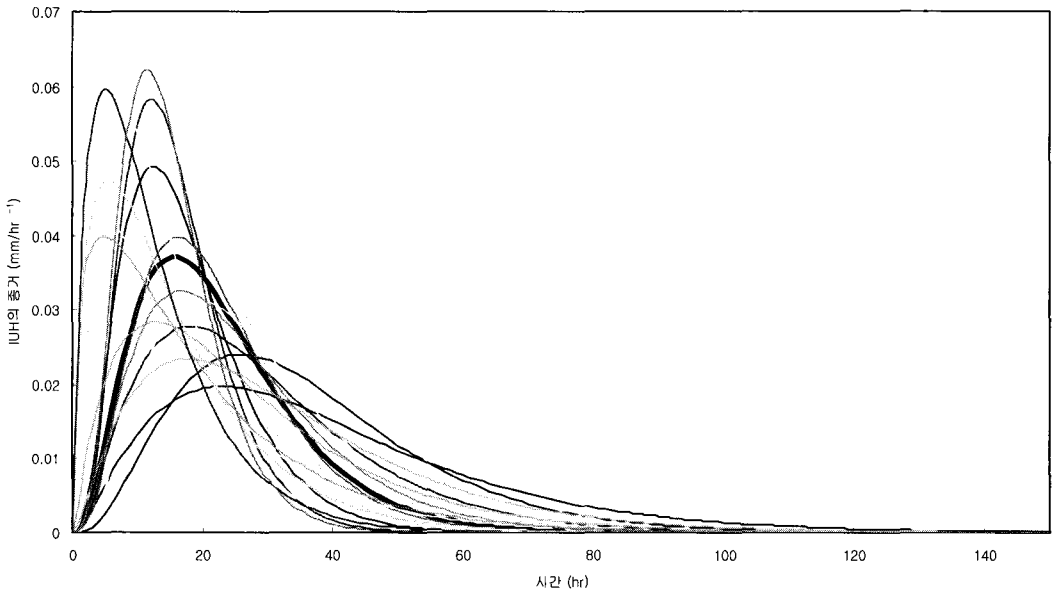

그림 5. 산계지점의 Nash 순간단위도

산정과 기저유출분리에 비교적 단순한 Φ-지수법과 수평직선 분리법을 이용하였는데, 보다 정교한 방법을 적용할 경우 개선의 효과가 기대된다.

산계 수위표 지점의 호우사상별 Nash 모형은 그림 5와 같다. 굵은 선으로 표시된 곡선이 본 연구에서 추정한 대표단위도로서 호우사상별 단위도들의 중앙치로 나타나고 있음을 알 수 있다.

4.3 적용성 분석

전 절에서 구성된 대표순간단위도의 실제 사상에 대한 적용성 분석을 수행하였다. 적용 사상은 매개변수 추정에 이용된 18개 사상으로 하였고, Snyder 방법 및 수정 Nakayasu 방법에 의한 합성단위도의 적용 역시 병행하여 사상별로 모의된 첨두유량 및 첨두발생시간을 관측치와 비교하였다. 사상별 첨두유량과 첨두발생시간은 표 8과 같고, 동일 사상별 산점도는 그림 6, 7과 같다. 대표순간단위도에 의한 첨두발생시간은 관측치에 비하여 다소 길게 모의되는 경향을 보이지만 비교적 잘 일치하였다. 하지만 첨두유량은 150 ㎥/sec정도까지는 관측치와 일치하는 반면, 그 이상 구간에서는 상당한 편차가 발생하였다. 특히 첨두유량이 커질수록 편차가 증가하는 경향이 나타났다. 이것은 전 절에서 언급하였듯이 매개변수 추정에 이용된 평균지체시간이 너무 길게 산정 됐기 때문으로 보인다.

Snyder 방법 및 수정 Nakayasu 방법의 적용 결과, 첨두유량은 본 연구 결과와는 반대로 유량이 큰 사상들의 구간에서는 비교적 잘 일치하는 반면 유량이 작은 사상들의 구간에서는 상당히 크게 산정 되는 경향을 볼 수 있다. 첨두발생시간은 거의 일관적으로 짧게 산정 되고 있음을 알 수 있다.

표 8. 사상별 첨두유량과 첨두발생시간

연도	일시	첨두유량(m³/sec)				첨두시간(hr)			
		관측치	본연구	Snyder	수정 Nakayasu	관측치	본연구	Snyder	수정 Nakayasu
90	7.14.	303.60	171.70	271.70	286.60	23	25	16	18
	8.31.	36.20	29.80	44.12	45.60	25	23	16	14
	9.11.	179.70	103.00	188.48	212.90	28	33	24	27
91	7.11.	59.80	38.70	66.00	74.80	24	27	18	20
92	8.14.	23.39	35.70	62.76	69.55	22	19	11	13
	8.24.	48.21	55.30	105.25	118.44	20	22	14	16
	9.24.	47.98	75.10	125.10	132.58	29	29	21	22
94	8. 1	51.40	34.70	59.56	64.35	28	29	21	23
97	6.24.	163.30	74.80	123.96	136.88	33	40	32	35
98	6.24.	74.80	77.20	111.80	121.63	33	36	30	33
99	6.23.	211.40	108.50	177.04	179.6	20	27	20	23
	7.27.	20.70	24.00	38.66	42.75	53	55	46	49
	8. 2.	127.40	130.60	214.74	243.51	32	23	14	16
	9. 9.	386.40	206.60	367.20	407.94	20	29	21	24
	9.22	443.30	262.30	444.28	481.31	27	36	28	31
2000	6.26.	306.30	160.50	282.94	308.5	23	32	24	27
	6.30.	77.90	47.20	70.48	78.36	10	16	7	10
	7.30.	93.90	84.70	131.41	140.51	23	22	14	16

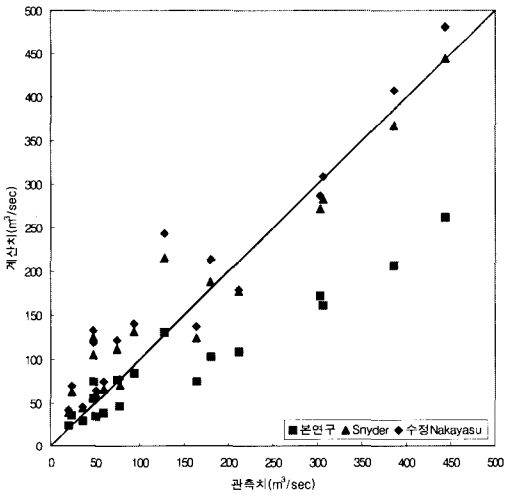

그림 6. 첨두유량의 산점도

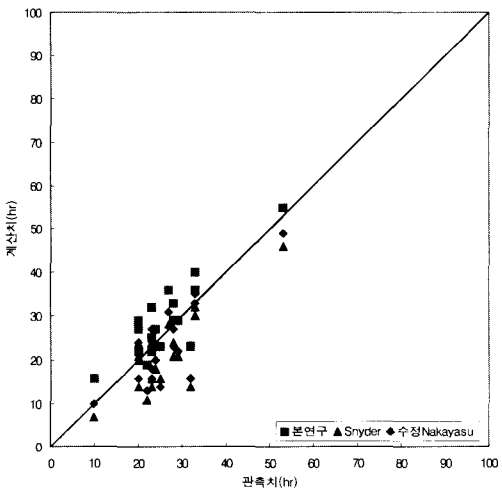

그림 7. 첨두발생시간의 산점도

4.4 축척매개변수에 대한 민감도 분석

GIUH 모형의 동적 매개변수인 평균유출속도에 직접 관련된 축척매개변수에 따른 수문응답의 변화정도를 검토하였다. 사상별로 수문곡선의 재현정도를 나타내는 효율계수(Nash 등, 1970)를 산정 한 결과 2000년 7월 30일 사상이 0.91로 가장 크게 나타났다. 따라서 앞서 결정된 축척매개변수에 대하여 ±20% 범위의 인위적인

표 9. 축척매개변수 변화에 따른 특성치의 변화율

% / %	-20	-15	-10	-5	5	10	15	20
$\Delta E/E$	-29.57	-17.89	-9.44	-3.65	1.85	2.29	1.57	-0.07
$\Delta Q_p/Q_p$	16.65	11.72	7.39	3.53	-3.29	-6.26	-8.95	-11.45
$\Delta t_p/t_p$	-13.64	-9.09	-9.09	-4.55	4.55	4.55	9.09	13.64

오차를 발생시켜 해당사상의 첨두유량, 첨두발생시간 및 효율계수의 변화율을 산정 하였다. 산정 결과는 표 9와 같다.

효율계수는 음오차 구간에서는 큰 변화율이 발생하지만 양오차 구간에서는 거의 변화가 나타나지 않음을 알 수 있다. 첨두유량과 첨두발생시간은 오차의 크기에 비례하여 변화율이 발생하였다. 일반적으로 Nash 모형의 매개변수들은 유효우량 산정법 및 기저 유출 분리 방법 등에 상당히 민감한 것으로 알려져 있다. 따라서 수정 Φ-지수법(김재한, 1979)이나 초기손실-일정손실 모형(건설부, 1991) 등과 같은 좀 더 정교한 방법들의 적용이 필요한 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 Nash 모형에 의한 대표순간단위도 매개변수를 대상유역의 지형학적 인자로부터 추정하기 위하여, Nash 모형과 GIUH 모형에 대한 이론적 고찰을 수행하고 실제 호우사상에 적용하여 보았다. 이상으로부터의 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 동일 호우사상에 대한 Nash 모형과 GIUH 모형의 상관 분석 결과, 첨두값은 상당히 일치하는 반면 첨두시간은 다소 분산된 경향을 보임을 알 수 있었다. 특히 Nash 모형에 비하여 GIUH 모형이 첨두시간을 비교적 길게 평가함을 알 수 있었다. 이것은 GIUH 모형의 동적 매개변수인 유출속도의 과소 추정에 기인한 것으로, 평균유출속도 가정 및 식 (11), (12)의 국내 유역에 대한 적용성 평가가 이루어져야 할 것으로 보인다.

(2) Nash 모형에 의한 대표순간단위도의 형상매개변수(n)를 대상유역의 지형학적 인자를 이용하여 추정할 수 있었다. 호우사상별 매개변수의 도수분포를 도시하여 본 결과 추정치의 타당성을 확인할 수 있었다. 또한 형상매개변수(n)와 유역평균지체시간을 이용하여 추정한 축척매개변수(k) 역시 타당성을 확인할 수 있었다.

(3) 대표순간단위도의 첨두값과 첨두시간은 호우사상들의 평균치와는 매우 유사한 반면 합성단위도법에 의한 산정치와는 다소 차이를 나타냈다. 이것은 축척매개변수(k) 추정에 이용된 유역평균지체시간이 너무 길게 산정 됐기 때문으로 보인다. 본 연구에서는 유효우량 산정 및 기저유출 분리에 비교적 단순한 Φ-지수법과 수평직선 분리법을 이용하였는데 좀 더 정교한 방법을 사용할 경우 개선 효과를 기대할 수 있을 것으로 보인다.

(4) 대표순간단위도를 도시하여 본 결과 호우사상별 단위도들의 중앙치로 나타났다. 18개 호우사상별로 상이한 순간단위도의 출현은 보다 정확한 수위-유량 곡선이 요구됨을 제시한다.

(5) 기왕의 대표단위도는 첨두값 및 첨두시간을 포함한 소수의 점들에 의하여 스켓치된 것에 비하여 본 연구에서 구성한 대표단위도의 작성은 상기의 주관적 요소를 배제할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2001년도 국제수문개발계획(IHP) 대표유역 연구조사의 세부 과업으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

건설부(1990-2000). **국제수문개발계획(IHP)대표유역연구조사보고서.**

건설부(1992). **국제수문개발계획(IHP)대표유역연구조사보고서** - 국내 기존 합성단위유량도의 비교분석.

김재한(1979). 폐선형계로 본 유역 대표 단위 유량도의 유도를 위한 알고리즘의 개발에 관한 연구.

박사학위논문, 연세대학교.

김재한, 윤석영(1993). "소유역의 수로기하학적 특성과 사면을 고려한 유역순간단위도의 유도." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제13권, 제2호, pp.161-171.

김재형, 윤용남(1986). "소유역의 홍수유출계산을 위한 단일선형저수지 모형의 적용" **한국수문학회지**, 한국수문학회, 제19권, 제1호, pp.65-74.

서진호(1996). 강우의 시간 분포모형 산정에 의한 강우-유출 해석. **박사학위논문**, 동아대학교, pp. 105-116.

성기원(1999). "유역의 상사성을 이용한 Clark모형의 매개변수 해석." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제32권, 제4호, pp.427-435.

이정식, 김재한, 이원환(1987). "지형학적 순간단위도에 의한 첨두유량의 강우-유출 해석." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제7권, 제1호, pp.55-64.

이혁규, 윤석영, 김재한(1995). "GIUH의 지체시간 산정을 위한 수문학적 해석." **한국수자원학회지, 한국수자원학회**, 제28권, 제4호, pp.155-169.

조홍제, 이상배(1990). "유역응답의 수문학적 상사성 해석에 관한 연구(Ⅰ)." **한국수문학회지**, 한국수문학회, 제23권, 제4호, pp.421-434.

한국건설기술연구원(1989). **설계홍수량 산정을 위한 단위유량도의 합성방법 개발**.

한국건설기술연구원(2000). **시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구 - 합성단위도 개발**

홍일표, 고재웅(1999). "하천의 프랙탈 특성을 고려한 지형학적 순간단위도의 개발(Ⅰ)." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제32권, 제5호, pp.565-577.

C. O. Clark(1945). "Storage and The Unit Hydrograph." *Transactions of ASCE*, Vol. 110, pp. 1419-1446.

Ignacio Rodriguez-Iturbe, Gustavo Devoto, Juan B. Valdes(1979). "Discharge Response Analysis and Hydrologic Similarity: The Interrelation Between the Geomorphologic IUH and the Storm Characteristics." *Water Resources Research*, Vol. 15, No. 6, pp. 1435-1444.

Ignacio Rodriguez-Iturbe, Juan B. Valdes(1979). "The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response." *Water Resources Research*, Vol. 15, No. 6, pp. 1409-1420.

J. C. I. Dooge(1959). "A General Theory of the Unit Hydrograph." *Journal of Geophysical Research*, Vol. 64, No. 2, pp. 241-256.

J. E. Nash(1957). "The Form of the Instantaneous Unit Hydrograph." *IASH Assemble Generale de Toronto*, Vol. 3, pp. 114-121.

J. E. Nash(1959). "Systematic Determination of Unit Hydrograph." *Journal of Geophysical Research*, Vol. 64, No. 1, pp. 111-115.

J. E. Nash(1960). "A Unit Hydrograph study with particular reference to British Catchments." *Proc. Civ. Eng*, Vol. 17, pp. 249-282.

J. E. Nash, J. V. Sutcliffe(1970). "River Flow Forecasting through Conceptual Models. Part Ⅰ-A Discussion of Principles." *Journal of Hydrology*, Vol. 10, pp. 282-290.

Juan B. Valdes, Yolanda Fiallo, Ignacio Rodriguez-Iturbe(1979). "A Rainfall-Runoff Analysis of the Geomorphologic IUH." *Water Resources Research*, Vol. 15, No. 6, pp. 1421-1434.

M. H. Diskin(1964). A Basic Study of the Linearity of the Rainfall-Runoff Process in Watersheds. *Ph. D. Thesis, Univ. of Illinois, Urbana.*

Renzo Rosso(1984). "Nash Model Relation of Horton Order Ratios." *Water Resources Research*, Vol. 20, No. 7, pp. 914-920.

Vijay K. Gupta, Ed Waymire, C. T. Wang(1980). "A Representation of an Instantaneous Unit Hydrograph From Geomorphology." *Water Resources Research*, Vol. 16, No. 5, pp. 855-862.

(논문번호:02-55/접수:2002.08.19/심사완료:2002.12.17)