

Nash 모형의 지체시간을 이용한 GIUH 유도

The derivation of GIUH by means of the lag time of Nash model

김 주 철* / 윤 여 진** / 김 재 한***

Kim, Joo Cheol / Yoon, Yeo Jin / Kim, Jae Han

Abstract

The lag time is one of the most important factors for estimating a flood runoff from streams. It is well known to be under the influence of the morphometric properties of basins which could be expressed by catchment shape descriptors. In this paper, the notion of the geometric characteristics of an equivalent ellipse proposed by Moussa(2003) is applied for calculating the lag time of geomorphological instantaneous unit hydrograph(GIUH) at the basin outlet. The lag time is obtained from the observed data of rainfall and runoff by using the method of moments suggested by Nash(1957), and the procedure based on geomorphology is used for GIUH. The relationships between the basin morphometric properties and the hydrological response are discussed as applied to 3 catchments in Korea. Additionally, the shapes of equivalent ellipse are examined how they are transformed from upstream area to downstream one. As a result, the relationship between the hydrological response and descriptors is shown to be comparatively good, and the shape of ellipse is presented to approach a circle along the river downwards. These results may be expanded to the estimation of hydrological response of ungauged catchment.

keywords : lag time, equivalent ellipse, catchment shape descriptor, GIUH

요 지

자연 하천으로부터 홍수유출을 추정할 경우, 반드시 고려해야 할 중요한 인자들 중의 하나는 지체시간이다. 지체시간은 집수형상디스크립터로 표현될 수 있는 유역의 형태적 특성의 영향아래 있음이 잘 알려져 있다. 본 논문에서는 Moussa(2003)에 의하여 제안된 등가타원의 기하학적 특성에 대한 개념을 유역 출구에 대한 지형학적 순간단위도(GIUH)의 지체시간 산정에 적용한다. 강우-유출 관측 자료에 대한 지체시간은 Nash(1957)가 제안한 적률법을 이용하여 산정하고, GIUH 유도에는 지형학에 기초한 절차가 적용된다. 국내 3개 유역에 대한 적용사례를 통하여, 유역의 형태적 특성과 수문학적 응답사이의 관계를 고찰한다. 또한 상류지역으로부터 하류지역까지 등가타원 형상의 변화양상이 시험된다. 그 결과, 수문학적 응답특성과 디스크립터 사이에는 비교적 우수한 관계가 존재함이 확인되었고 타원의 형상은 하류방향을 따라 원의 형태로 접근해 감을 확인할 수 있었다. 본 연구 결과는 미계측 유역으로 확대적

* 충남대학교부속 산업기술연구소 연구원
Researcher, Industrial Technology Research Institute, Chungnam National Univ., Daejeon 305-764, Korea
(e-mail: kjc@cnu.ac.kr)
** 건양대학교 토목시스템공학과 조교수
Assistant Professor, Dept. of Civil System Engrg., Konyang Univ., Chungnam Nonsan, 320-711, Korea
(e-mail: yyj0806@konyang.ac.kr)
*** 충남대학교 토목공학과 교수
Professor, Dept. of Civil Engrg., Chungnam National Univ., Daejeon 305-764, Korea
(e-mail: kjh@cnu.ac.kr)

용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 지체시간, 등가타원, 집수형상디스크립터, GIUH

1. 서론

지금까지 수문학 분야에서는 강우사상에 대한 특정 수로망의 응답과 더불어, 수로망의 생성원인이나 변화 양상 등이 지속적으로 연구되어 왔다. 하지만 불행하게도 이러한 문제에 대한 해답은 아직까지 명확하게 제시되지 못하고 있다. 그럼에도 불구하고 수로망을 정량화하고자 시도한 각종 연구 사례들을 찾아볼 수 있다. 예를 들면, Horton(1945), Strahler(1952) 및 Smart(1968) 등은 배수유역에 대한 정량적 지형학 분석의 기초를 구축한 바 있다. Shumm(1956)은 유역과 동일한 면적을 갖는 원의 직경과 유로연장사이의 비로 정의되는 신장비를 이용하여 집수형상을 묘사하고자 하였다. 이러한 관점으로부터, 최근 Moussa(2003)는 유역의 수문학적 응답을 특성화하기 위하여 새로운 형태의 집수형상디스크립터를 정의한 바 있다. 유역의 형태적 특성과 수문학적 응답사이의 관계를 연구하기 위하여, 그는 새로운 집수형상지수로서 유역의 집수평면과 동일한 기하학적 특성을 갖는 등가타원을 제시하였다.

Moussa(2003)의 연구배경은 지체시간 및 GIUH와 같은 유역응답의 수문학적 특성에 기초한다. 수문학 분야에서 적용되는 규모문제(scale problem)에 관한 학술회의가 1982년, 1984년에 각각 개최된 바 있다(Klemes, 1983; Gupta et al., 1986). 이러한 연구동향으로부터 유역의 형태적 특성에 대한 연구는 수문학자들의 중요한 연구과제 중의 하나임을 확인 할 수 있다.

Chutha and Dooge(1990)는 통계물리학적 접근법에 따라 Rodríguez-Iturbe and Valdes(1979)에 의하여 개발된 GIUH 모형을 확장론적 개념하에서 재공식화한 바 있다. 여기서 그들은 유역의 지형학적 구조에 기초한 GIUH 모형의 형상이 개념적 순간단위도인 Nash 모형과 매우 유사함을 밝힌 바 있는데, 이는 양자를 합동으로 가정하여 순간단위도의 특성매개변수를 해석하고자 한 Rosso(1984)의 연구가 타당함을 입증하는 것이다.

본 연구의 목적은 유역의 시변성에 기인하여 호우사상별로 다르게 산정되는 GIUH 모형의 특성유속에 대한 대표치를 집수형상디스크립터를 이용하여 산정하고자 하는 것이다. Rosso(1984) 및 Chutha and Dooge(1990)의 견해에 따라 본 연구에서는 Nash 모형과 GIUH 모형을 합동으로 가정한다. 이러한 시도의 주된

의도는 GIUH 모형의 대표유속 산정에 있어 양자의 실무 적용성을 시험하고 GIUH 모형을 이용한 유역의 대표순간단위도를 유도하고자 하는 것이다.

2. 유역형상의 정량화

2.1 수로망(channel network)의 형상

수로망의 형상에 대한 정량적 분석은 Horton의 배수구성법칙을 기원으로 한다(Smart, 1972). Horton은 차수분류법을 제안한 바 있는데, 이는 Strahler에 의해 다음과 같이 보다 객관적인 형태로 수정되었다.

- ① 수원으로부터 발원한 수로는 1차 하천(stream)으로 정의된다.
- ② i 차 하천 2개가 만나면 $i+1$ 차 하천을 형성한다.
- ③ 서로 다른 차수의 하천이 만나면 2개 차수 가운데 큰 차수를 유지한다.

여기서 하천은 수로망을 구성하는 기본단위로서, 합류점(junction) 사이의 구간을 의미하는 수로구간(link)과는 구별된다. 차수는 해당 하천의 위상을 나타내며, 동일한 차수를 갖는 하천들은 유사한 특성을 갖는 것으로 볼 수 있다. 따라서 전체 수로망은 차수별로 몇 개의 하천군으로 분류될 수 있다. Strahler의 차수분류법에 따라 수로망을 구성하는 모든 하천들의 차수가 결정되면, 각 차수별 하천의 개수, 평균길이 그리고 평균배수면적이 결정될 수 있다. 이로부터 Horton의 배수구성법칙은 Eq. (1)과 같이 표현되어 진다.

$$R_B = \frac{N_{i-1}}{N_i} ; R_L = \frac{\bar{L}_i}{L_{i-1}} ; R_A = \frac{\bar{A}_i}{A_{i-1}} \quad (1)$$

여기서 N_i 는 i 차 하천의 개수, \bar{L}_i 는 i 차 하천의 평균 길이, \bar{A}_i 는 i 차 배수유역의 평균면적이다. R_B , R_L , R_A 는 수로망의 형상을 묘사하는 디스크립터로서 각각 분기비, 길이비 및 배수면적비이다. Smart(1972)는 자연유역에서 발생 가능한 R_B , R_L , R_A 의 범위로서 각각 3~5, 1.5~3.5, 3~6의 값을 제시한 바 있다.

2.2 집수평면(catchment plan-form)의 형상

집수평면은 유역의 경계를 수평면 위에 투영할 경우 얻어지는 폐곡선으로 정의된다(Eagleson, 1970). Eq. (2)는 집수평면의 형상을 묘사하기 위하여 개발된 기존의 디스크립터들로서 F , C_1 은 각각 Horton에 의하여 제안된 형상비(form factor)와 밀집비(compactness factor), C_2 는 Miller의 원상율(basin circularity), 그리고 E 는 Schumm의 신장비(basin elongation)를 나타낸다(Gregory와 Walling, 1973; 이원환, 1999).

$$F = \frac{A}{L^2} ; C_1 = \frac{P_1}{2\sqrt{\pi A}} ; C_2 = \frac{4\pi A}{P_2^2} ; E = \frac{2\sqrt{A/\pi}}{L} \quad (2)$$

여기서 A 는 유역면적, L 은 유로연장, P_1 은 유역의 주변장(perimeter) 그리고 P_2 는 유역면적과 동일한 면적을 갖는 원의 주변장(원주)이다. Eq. (2)의 디스크립터들은 모두 유역의 형상을 일종의 평면도형으로서 평가하고 있음을 알 수 있다

2.3 밀집도(compactness)

선거구에 대한 정당/인종차별(gerrymandering)의 평가수단으로 적용되는 밀집도는 “closely or firmly united or packed together” 혹은 “packed into or arranged within a small space”와 같은 사전적 의미를 갖는다(The American Heritage Dictionary). 주로 퍼짐(dispersion)이나 주변장의 상태를 이용하여 선거구역의 형상을 평가하는 밀집도는 형상의 정량화가 갖는 난점으로 인하여 여러 가지 정의들이 제시되어 왔으며, 이들이 서로 상호보완적으로 이용되고 있다. Niemi 등(1990)은 밀집도에 대한 각종 정의들을 범주별로 분류한 바 있는데, 여기서 주목되는 것은 기존의 집수평면 디스크립터들과의 유사성이다. 특히 Eq. (2)의 F , C_1 , C_2 는 거의 동일한 형태로 gerrymandering 평가에 적용되고 있으며, 이들의 출처로서 수문학자들의 연구 성과가 제시되고 있음을 찾아볼 수 있다. 결국 Eq. (2)의 디스크립터들은 모두 집수평면에 대하여 각 특성을 내포한 일종의 밀집도로서 정의할 수 있다. Eq. (2) 이외의 밀집도에 대한 정의로서 Eq. (3)과 같은 극관성적률의 비 M 이 있다(Niemi et al., 1990).

$$M = \frac{A}{\sqrt{2\pi J}} \quad (3)$$

여기서 J 는 평면의 극관성적률이다(양창현, 1996). Moussa(2003)는 평면의 관성적률은 유로연장이나 주변장 등과 같은 선형인자에 비하여 지형공간자료의 해상도에 독립적인 특성을 가짐을 시사한 바 있다. 따라서 본 연구에서는 Eq. (2), (3)을 집수평면에 대한 형상 평가에 적용해 보고자 한다.

3. 신집수형상디스크립터

3.1 등가타원

Moussa(2003)에 의하여 개발된 신집수형상디스크립터는 집수평면과 동일한 기하학적 특성을 갖는 다음과 같은 등가타원을 기반으로 하여 정의된다.

- ① 타원의 중심은 집수평면의 중심에 위치한다.
- ② 타원의 장축과 단축은 집수평면의 관성주축과 일치한다.
- ③ 타원과 집수평면의 면적은 동일하다.
- ④ 타원과 집수평면의 최소관성적률과 최대관성적률의 비는 동일하다.

Fig. 1은 집수평면 Σ 를 2차원평면 xAy 상에 도시한 것이다. 여기서 G 는 Σ 의 중심이고 $x'Gy'$ 은 xAy 를 원점 A 로부터 G 까지 평행 이동할 경우의 2차원평면이다. 만약 \overline{GX} , \overline{GY} 를 Σ 의 관성주축이라 할 경우, 단면의 기하학적 성질에 따라 Eq. (4)는 Σ 의 중심축 $\overline{Gx'}$, $\overline{Gy'}$ 으로부터의 회전각 ω 와 신장비 R_s 를 나타낸다(김주철 등, 2004; 김재한, 2005).

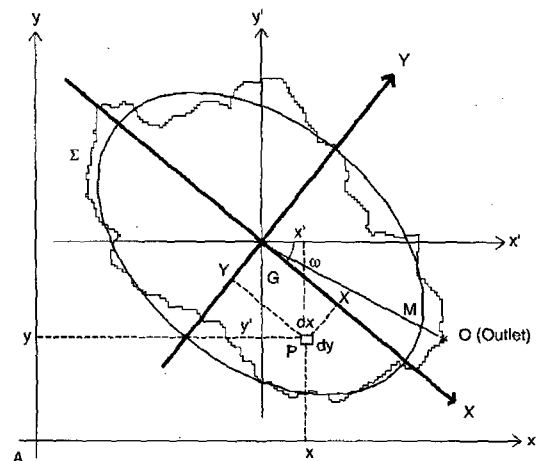


Fig. 1. Catchment plane and equivalent ellipse (Moussa, 2003)

$$\tan 2\omega = \frac{2I_{x'y'}}{I_y - I_x} ; R_i = \frac{I_{\min}}{I_{\max}} \quad (4)$$

여기서 $I_x, I_y, I_{x'y'}$ 은 Σ 의 중심축에 대한 관성적률이고 I_{\min}, I_{\max} 은 각각 최소관성적률과 최대관성적률이다(양창현, 1996; 김재한, 2005). R_i 는 0~1의 범위로서 집수평면이 신장될수록 작은 값을 갖는다.

타원의 기하학적 특성인 면적 A_e , 최소관성적률 $I_{\min,e}$ 그리고 최대관성적률 $I_{\max,e}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$A_e = \pi ab ; I_{\min,e} = \frac{\pi ab^3}{4} ; I_{\max,e} = \frac{\pi a^3 b}{4} \quad (5)$$

여기서 a, b 는 각각 타원의 장축과 단축의 길이로서 해당 타원의 관성주축과 동일한 방향을 갖는다. 따라서 타원의 신장도는 Eq. (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{I_{\min,e}}{I_{\max,e}} = \left(\frac{b}{a}\right)^2 \quad (6)$$

Fig. 1에서 Σ 의 면적을 S_0 라 할 경우, 등가타원은 전술한 정의에 따라 Σ 와 동일한 면적과 R_i 를 갖게 된다. 따라서 등가타원의 장축과 단축의 길이는 Eq. (7)과 같이 유도할 수 있다.

$$a = \left[\frac{S_0}{\pi} \left(\frac{1}{R_i} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} ; b = \left[\frac{S_0}{\pi} \left(R_i \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

3.2 집수평면과 출구 사이의 평균 거리

등가타원에 대한 개념을 기반으로 Moussa(2003)는 Σ 와 O 사이의 평균거리를 특성화할 수 있는 다음과 같은 신집수형상디스크립터를 최종적으로 제안하였다.

$$a + b ; a + b + \epsilon OM \quad (8)$$

여기서 OM 은 출구와 등가타원의 경계사이의 거리이고 ϵ 은 O 가 타원의 외부에 위치할 경우에는 +1, 내부에 위치할 경우에는 -1의 값을 갖는 가중치이다. 식 (8)의 두 신집수형상디스크립터에 대한 정의는 지체시간 t_L 과 밀접한 상관성을 암시한다. 김주철 등(2004)은 국내 유역에 대한 적용사례를 통하여 Eqs. (9)~(11)과

같은 멱함수형 회귀식을 제시하고 이를 Nash 모형의 대표매개변수 추정에 적용한 바 있다.

$$1) \text{ 평창강 유역} : t_L' = 2.68(a+b)^{0.56} \quad (9)$$

$$2) \text{ 보청천 유역} : t_L' = 2.09(a+b)^{0.67} \quad (10)$$

$$3) \text{ 위천 유역} : t_L' = 1.75(a+b)^{0.54} \quad (11)$$

4. 순간단위도 이론

4.1 Nash 모형과 GIUH 모형

Nash 모형은 유역의 수문학적 응답과정을 n 개의 동등한 선형저수지군을 통한 추적으로서 다음과 같이 모의한다(Nash, 1957).

$$h(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{k}} \quad (12)$$

여기서 n 은 선형저수지의 개수, k 는 선형저수지의 저류상수 그리고 $\Gamma(\cdot)$ 는 Gamma 함수이다. Eq. (12)의 두 매개변수 n, k 는 직률법에 의하여 관측 자료로부터 직접 추정이 가능하다. 하지만 이들은 관측 자료의 오차나 혹은 유역변환계의 비선형성 등으로 인하여 호우 사상별로 다른 값을 나타내어 대표치를 얻기 위한 과정을 필요로 하게 된다.

Strahler의 차수분류법을 기반으로 한 GIUH 모형의 일반식은 Eq. (13)과 같다.

$$h(t) = \sum_{s \in S} P(s) f_{T_s}(t) \quad (13)$$

여기서 S 는 경로 s 의 모집단이고 $P(s), f_{T_s}(t)$ 는 각 s 에 대한 경로선택확률과 체류시간의 확률밀도함수로서 다음과 같이 정의된다.

$$P(s) = \theta_i(0) \times p_{ij} \times \dots \times p_{k\Omega} \quad (14)$$

$$f_{T_s}(t) = f_{T_i}(t) * f_{T_j}(t) * \dots * f_{T_n}(t) \quad (15)$$

여기서 $\theta_i(0), p_{ij}$ 는 각각 초기상태확률과 상태전이확률, $f_{T_k}(t)$ 는 k 차 하천체류시간의 확률밀도함수 그리고 $*$ 는 convolution 연산자이다. $\theta_i(0), p_{ij}$ 는 Eq. (16)을 이용할 경우 지형도로부터 비교적 정확하게 추정할 수 있음이 잘 알려져 있다.

$$\theta_i(0) = \frac{A_i^*}{A} ; p_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_i} \quad (16)$$

여기서 A_i^* 는 i 차 하천의 직접배수면적 그리고 N_{ij} 는 j 차 하천과 합류하는 i 차 하천의 개수이다. GIUH 모형의 개발과정에서 Rodríguez-Iturbe and Valdes(1979)는 $f_{T_i}(t)$ 로서 Eq. (17)과 같은 지수분포 확률밀도함수를 적용하였다.

$$f_{T_i}(t) = \lambda_i e^{-\lambda_i t} \quad (17)$$

여기서 λ_i 는 i 차 하천의 평균체류시간의 역이다. Eq. (17)은 수문선형계의 개념적 성분인 선형저수지의 단위 충격 응답함수와 일치하는 형태로서 이로부터 Eq. (13)은 직렬 및 병렬로 연결된 선형저수지군에 대한 추적식과 유사하게 된다(Chutha and Dooge, 1990; Franchinia and O'Connell, 1996). 지수분포 확률밀도함수의 특성을 고려하여 Rodríguez-Iturbe and Valdes(1979)는 최고차수 하천을 두 개의 동등한 선형저수지로 나누어 모형을 재구성한 바 있다.

4.2 지체시간을 이용한 GIUH 모형의 특성 유속 추정

시간원점에 대한 순간단위도의 1차 적률로 정의되는 지체시간 t'_L 은 Eq. (18)과 같이 나타낼 수 있다(Nash, 1960).

$$t'_L = Q'_1 - I'_1 \quad (18)$$

여기서 Q'_1 , I'_1 은 각각 직접유출수문곡선과 유효우량 주상도의 시간원점에 대한 1차 적률이다. GIUH 모형의 지체시간 t_L 은 Eq. (13)으로부터 다음과 같이 유도할 수 있다(Cheng, 1982; 이정식, 1987).

$$t_L = \frac{1}{\nu} \left[\sum_{s \in S} P(s) \left(\sum_{k=i}^{\Omega} \bar{L}_k \right) \right] \quad (19)$$

여기서 ν 는 홍수유출이 발생하는 기간 동안 유역 전반에 걸쳐 일정하게 가정되는 GIUH 모형의 동적매개변수인 특성유속이다(Rodríguez-Iturbe and Valdes, 1979).

유역변환계를 선형성 및 시불변성으로 가정하면 일정한 하천속도의 가정이 가능함으로(Rosso, 1984), 이와

같은 가정하에서 Nash 모형의 IUH와 R-V의 GIUH는 근본적으로 같아야 한다. 왜냐하면 강우입자들의 지표상의 평균지체시간으로 표현한 것이 Nash 모형이며, 평균속도 개념으로 나타낸 것이 GIUH로서 시불변성이기 때문이다. 어떤 경우이든 양자는 강우입자들의 속도의 개념을 가지며, 다만 표현 방법이 다를 뿐이다. 그러므로 물리적이든 개념적이든 시불변성의 가정하에서 양자는 원칙적으로 같아야 하며, 그렇지 않으면 두 방법 중 한 방법은 상기 기본 가정들에 위배되므로 틀린 방법이 되어 사용이 불가능해진다. 다시 말해서, 동일 유역에서 상기조건들에 부합되는 IUH는 어떤 경우이든 하나만이 존재하게 된다. 본 연구에서 밝혔듯이 양자가 근접하게 나타난다는 것은 방법론에서 근본적으로 차이가 있어서 그런 것이 아니며, 다만 지체시간과 속도의 표현방법에서 발생하는 수치해법 및 관측치 상의 문제일 뿐인 것이다. 이를 위해서 여기서 Rosso(1984) 및 Chutha and Dooge(1990)의 입증을 제시한 것이다. 그렇지 않다면 둘 중 하나는 틀리게 되는 귀납적 결론을 얻게 된다. 이는 지금까지 알려진 모든 방법들에 의한 IUH도 공히 같다. 따라서 개별호우사상들에 대한 평균 t'_L 과 Eq. (19)의 t_L 은 원칙적으로 같아야 함을 알 수 있다.

$$t'_L \simeq t_L \quad (20)$$

호우사상 자료로부터 t'_L 이 결정될 경우, ν 는 해당유역의 지형인자를 매개변수로 하여 Eq. (19)로부터 결정할 수 있다. 결국 ν 는 Eq. (20)으로부터 다음과 같이 t'_L 만의 함수로 표현할 수 있게 된다.

$$\nu = f(t'_L) = \frac{1}{t'_L} \left[\sum_{s \in S} P(s) \left(\sum_{k=i}^{\Omega} \bar{L}_k \right) \right] \quad (21)$$

Eq. (21)로부터 ν 가 결정될 경우 Eq. (17)의 λ_i 는 다음과 같이 산정될 수 있다.

$$\lambda_i = \frac{\nu}{L_i} \quad (22)$$

본 연구에서는 ν 의 산정에 Eqs. (9)~(11)의 t'_L 에 대한 신집수형상디스크립터 $a+b$ 의 회귀식을 적용한다.

5. 적용사례

5.1 유역의 배수구조 추출

본 연구에서는 대상유역으로 한강 수계의 평창강 유역, 금강 수계의 보청천 유역 그리고 낙동강 수계의 위천 유역을 선정하였다. 대상유역내 위치한 총 17개 수위표 지점에 대하여 Strahler의 차수분류법을 기반으로 한 각종 수로망디스크립터 및 등가타원에 의한 신집수형상디스크립터를 DEM으로부터 추출하였다. DEM의 생성에는 1/25,000 축척의 수치지도를 이용하였고 격자 크기는 20 m를 적용하였다. 또한 실제 하천자료와의 오차를 줄이기 위하여 DEM의 전처리에 fillburn DEM 기법을 적용하였다. 차수 산정의 자동화를 위하여 Arc View에서 운용되는 Strahler stream order Extension을 적용하였고, 집수평면의 관성적률은 grid형 유역도의 격자 중심점들의 좌표로부터 계산하였다(김주철, 2004).

Table 1은 이상의 과정을 통하여 추출된 수위표 지점별 디스크립터들로서 L_{Ω} , L_{e1} , L_{e2} 는 각각 최고 차수하천길이 및 신집수형상디스크립터인 $a+b$ 와 $a+b+\epsilon OM$ (김주철 등, 2004; 김재한, 2005)을 나타낸다. 또한 Table 2는 이상의 결과를 바탕으로 수위표 지점별 집수평면과 등가타원에 대한 각종 형상척도의 산

정결과를 나타낸 것이다. Fig. 2, 3은 각각 보청천 유역의 이평 수위표 지점에 대한 차수별 유역분할도 및 등가타원을 도시한 것이다.

우선 주목되는 것은 신장도 E 와 R 에 대한 산정결과로 후자의 경우가 보다 민감하게 유역의 형상을 반영하는 것으로 판단된다. 또한 등가타원의 형상은 하류방향을 따라 원의 형태로 접근해감을 Table 2의 등가타원에 대한 C_1 , C_2 그리고 M 의 산정결과에서 확인할 수 있다. 이와 같은 현상은 상당히 흥미로운 결과로서, 새롭게 획득된 내용들이라고 간주할 수 있다. 따라서 적용된 3개 유역들로부터 판단해 볼 때, 유역형상은 상류에서는 타원에 가까운 형상을 가지나 하류로 이동함에 따라 신장비가 줄어들어 상하, 좌우가 서로 대칭된 형상으로 진행된다고 할 수 있겠다. 물론 보다 일반화된 결과의 획득을 위하여 앞으로 더 많은 유역 및 자료들에 대한 분석이 이루어져야 하겠다.

집수평면에 대한 밀집도는 정의별로 상이한 양상을 보였다. 이러한 결과는 전술한 바와 같이 형상의 정량화가 갖는 난점에 기인하는 것으로, gerrymandering 평가에서 적용되는 것과 마찬가지로 2개 이상의 밀집도들에 대한 복합적 고려(Niemi et al., 1990)를 통한 평가나 프랙탈 이론의 적용(Knight, 1997) 등이 앞으로 수행되어야 할 것으로 보인다.

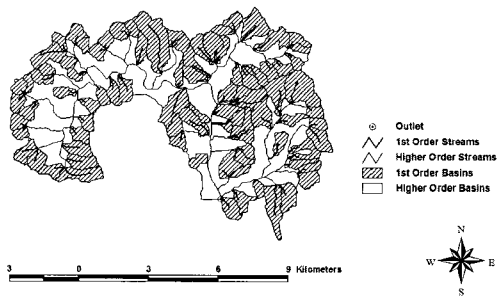
Table 1. The estimation results of channel network descriptors of control points

Catchments		Ω	R_B	R_A	R_L	$L_{\Omega}(\text{km})$	$L_{e1}(\text{km})$	$L_{e2}(\text{km})$
Pyeongchangang	Imokjeong	4	3.58	4.18	2.43	10.68	9.06	9.19
	Japyeong	4	4.53	5.20	2.96	19.45	12.37	14.64
	Baekokpo	5	3.36	3.85	1.83	7.02	13.56	15.10
	Sanganmi	5	4.12	4.73	2.53	28.62	22.62	24.65
	Habanjeong	4	4.25	4.93	2.29	9.90	10.85	12.23
	Bangnim	5	4.46	5.07	2.66	36.33	26.46	26.97
Bocheongcheon	Sanseong	4	3.88	4.59	2.42	9.37	8.46	7.31
	Ipyeong	4	4.49	5.27	2.67	13.32	10.31	10.83
	Tanbu	4	4.44	5.35	2.91	13.21	10.19	11.55
	Gidae	6	3.42	3.86	1.23	0.69	21.77	20.35
	Sangye	6	3.68	4.03	1.98	19.77	24.86	26.59
Wicheon	Donggok	4	3.69	4.52	2.25	5.32	6.55	7.40
	Gono	5	3.59	4.07	1.99	8.71	11.85	13.30
	Miseong	5	4.04	4.37	2.32	21.27	15.00	17.60
	Byeongcheon	5	4.60	5.03	2.60	31.26	20.22	22.01
	Hyoryeong	5	4.13	4.72	1.63	2.18	13.95	15.49
	Museong	6	3.94	4.42	1.62	2.47	24.84	25.43

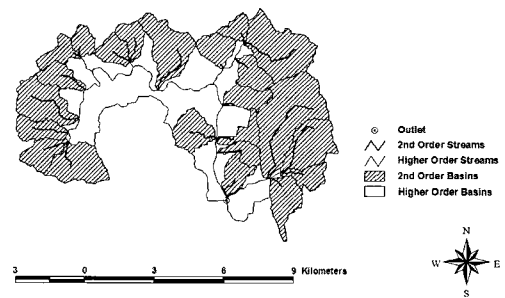
Table 2. The shape measurements of catchment planes and equivalent ellipses of control points

Catchments		Catchment plane						Equivalent ellipse		
		F	C_1	C_2	M	E	R_i	C_1	C_2	M
Pyeongchangang	Imokjeong	0.201	1.825	0.300	0.807	0.506	0.213	1.112	0.809	0.873
	Japyeong	0.163	1.841	0.295	0.828	0.455	0.229	1.102	0.823	0.882
	Baekokpo	0.220	1.778	0.316	0.966	0.530	0.783	1.003	0.995	0.996
	Sanganmi	0.159	1.911	0.274	0.906	0.450	0.562	1.016	0.970	0.980
	Habanjeong	0.248	1.720	0.338	0.892	0.562	0.326	1.059	0.892	0.928
	Bangnim	0.160	1.896	0.278	0.906	0.451	0.444	1.031	0.941	0.961
Bocheongcheon	Sanseong	0.182	2.428	0.170	0.725	0.481	0.227	1.103	0.821	0.881
	Ipyeong	0.183	2.443	0.168	0.800	0.483	0.300	1.068	0.877	0.918
	Tanbu	0.175	2.252	0.197	0.778	0.472	0.406	1.038	0.928	0.952
	Gidae	0.263	2.392	0.175	0.861	0.579	0.408	1.038	0.929	0.952
	Sangye	0.156	2.447	0.167	0.898	0.446	0.980	1.000	1.000	1.000
Wicheon	Donggok	0.408	1.884	0.282	0.903	0.721	0.664	1.008	0.985	0.990
	Gono	0.260	1.757	0.324	0.902	0.575	0.659	1.008	0.984	0.989
	Miseong	0.157	1.899	0.277	0.914	0.448	0.504	1.022	0.958	0.972
	Byeongcheon	0.164	2.301	0.189	0.854	0.456	0.378	1.044	0.917	0.945
	Hyoryeong	0.281	1.840	0.295	0.932	0.598	0.607	1.012	0.977	0.985
	Museong	0.223	2.005	0.249	0.898	0.532	0.528	1.019	0.963	0.975

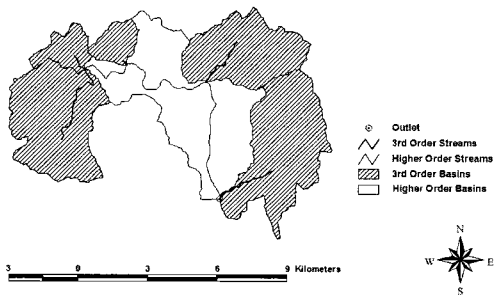
1st Order Basins in Ipyeong Basin



2nd Order Basins in Ipyeong Basin



3rd Order Basins in Ipyeong Basin



4th Order Basin in Ipyeong Basin

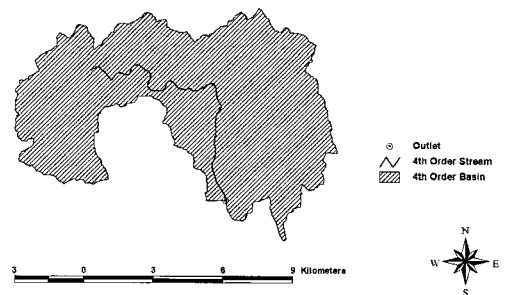


Fig. 2. The Drainage maps by order of Ipyeong basin

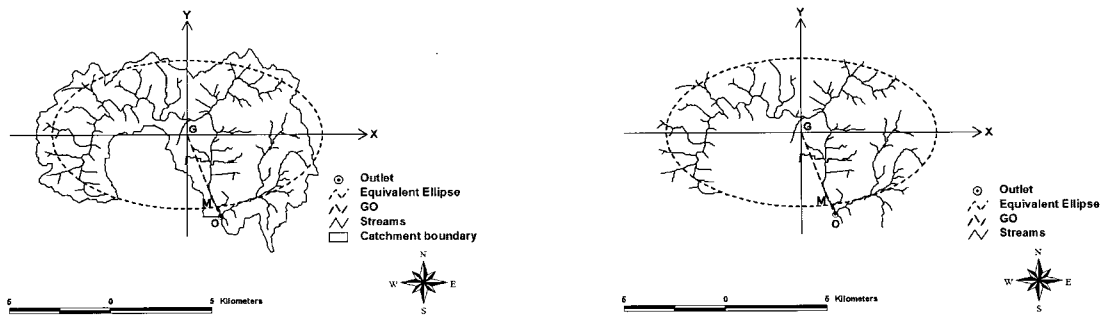


Fig. 3. The equivalent ellipse of Ipyeong basin

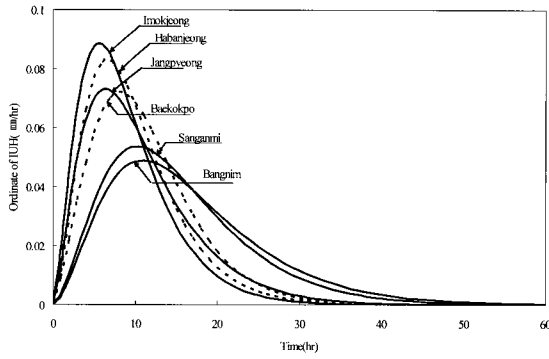
5.2 대표 GIUH의 유도

수위표 지점별 GIUH 모형의 지체시간 t_L 을 Eqs. (9)~(11)을 이용하여 추정하고, Eq. (21), (22)로부터 특성유속 ν 와 차수별 평균체류시간의 역 λ_i 를 산정하였다. Table 3은 수위표 지점별 t_L 과 ν 및 순간단위도의 특성매개변수인 첨두 q_p 와 첨두시간 t_p 의 산정결과이다. Fig. 4(a), 5(a), 6(a)는 이로부터 산정된 17개 수위표지점별 대표순간단위도를 유역별로 도시한 것으로 실선과 점선은 각각 본류와 지류 유역들에 대한 결과를 나타낸다. 하류방향으로 진행함에 따라 첨두는 작아지고 첨두시간은 길어지는 일관성 있는 응답특성을 확인

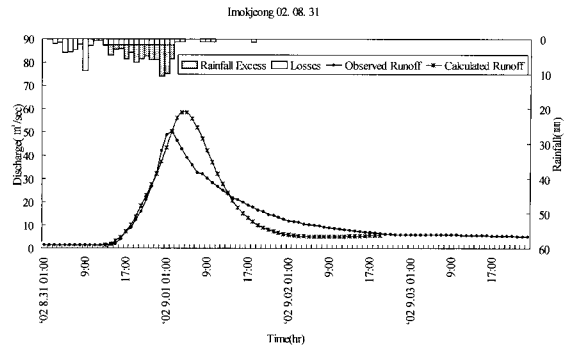
할 수 있다. 대표순간단위도의 적용성 분석을 위하여, 평창강 유역의 이목정 수위표, 보청천 유역의 산성 수위표 그리고 위천 유역의 동곡 수위표 지점에 대하여 1시간 대표단위도를 유도하고 t_L 에 대한 회귀식의 산정에 이용되지 않은 호우사상에 적용하여 보았다. Fig. 4(b), 5(b), 6(b)는 유출수문곡선의 산정 결과를 도시한 것으로 관측유출수문곡선과 잘 일치함을 볼 수 있다. 이로부터 본 연구에서 제안된 방법을 통하여 합리적인 유역의 대표응답함수 산정이 가능할 것으로 기대된다. 또한 등가타원을 기반으로 한 신집수형상디스크립터 $a+b$, $a+b+\epsilon OM$ 은 수문학적 적용을 위하여 유용한 도구가 될 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Parameter estimation results of RIUH of control points

Catchments		t_L (hr)	ν (m/s)	q_p (mm/hr)	t_p (hr)
Pyeongchangang	Imokjeong	9.21	0.39	0.086	5.767
	Japyeong	10.96	0.56	0.072	6.474
	Baekokpo	11.54	0.38	0.070	8.426
	Sanganmi	15.37	0.71	0.053	10.381
	Habanjeong	10.19	0.35	0.080	6.821
	Bangnim	16.78	0.78	0.049	11.030
Bocheongcheon	Sanseong	8.74	0.38	0.093	5.803
	Ipyeong	9.98	0.45	0.081	6.286
	Tanbu	9.90	0.48	0.080	6.365
	Gidae	16.46	0.33	0.046	9.380
	Sangye	17.99	0.53	0.045	13.067
Wicheon	Donggok	4.83	0.45	0.166	3.359
	Gono	6.65	0.59	0.126	4.802
	Miseong	7.55	0.94	0.107	4.720
	Byeongcheon	8.87	1.15	0.091	5.419
	Hyoryeong	7.26	0.69	0.117	3.131
	Museong	9.92	0.80	0.081	4.981

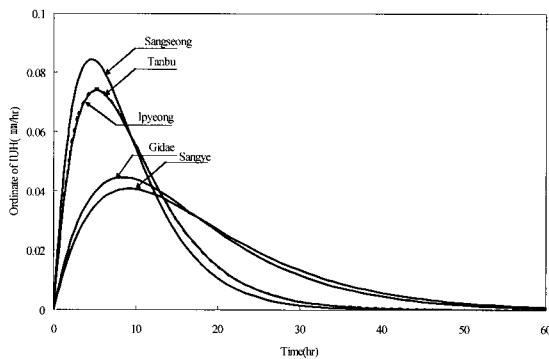


(a)

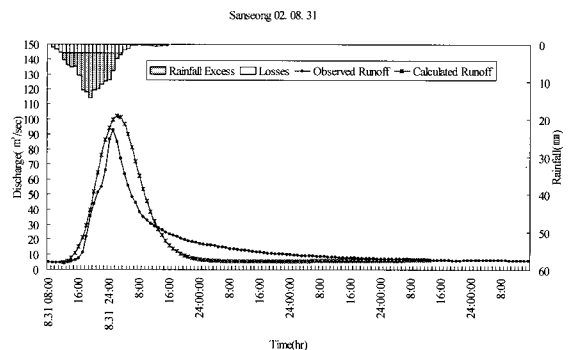


(b)

Fig. 4. RIUH(a) and runoff hydrograph(b) of Pyeongchanggang catchment

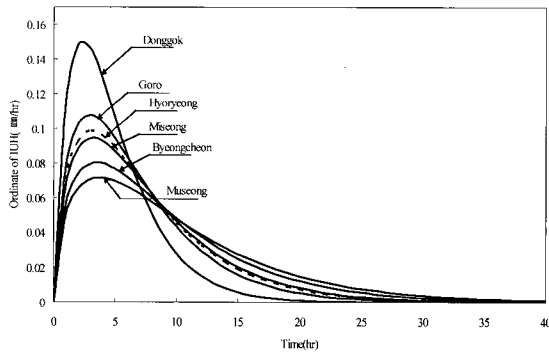


(a)

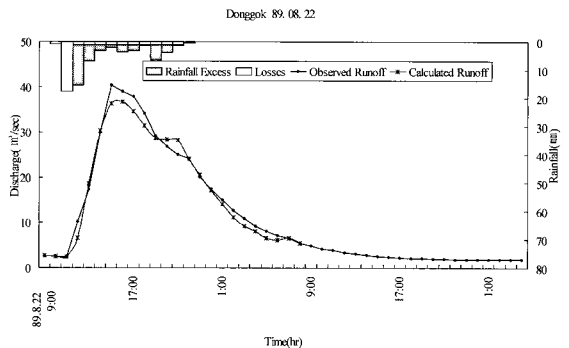


(b)

Fig. 5. RIUH(a) and runoff hydrograph(b) of Bocheongcheon catchment



(a)



(b)

Fig. 6. RIUH(a) and runoff hydrograph(b) of Wicheon catchment

6. 결론

본 연구에서는 등가타원을 기반으로 한 신집수형상 디스크립터를 이용하여 GIUH 모형의 특성유속을 추정하고 대표순간단위도 유도에 적용하여 보았다. 집수 평면과 등가타원의 형상 평가를 위하여 각종 밀집도를 산정하였고, 대표순간단위도의 유도에는 GIUH 모

형을 이용하였다. 이상으로부터의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 신집수형상디스크립터를 이용하여 GIUH 모형의 대표유속을 추정할 결과, 하류방향으로 진행함에 따라 첨두는 작아지고 첨두시간은 길어지는 일관성 있는 응답특성을 볼 수 있었다. 모의된 유출수문곡선 역시 관측유출수문곡선과 잘 일치하여 신

집수형상디스크립터가 수문학적 적용에 있어 유용한 도구가 될 수 있음을 확인할 수 있었다.

- 2) 등가타원의 형상은 하류방향을 따라 원의 형태로 접근해감을 밀집도에 대한 산정결과에서 확인할 수 있었다. 본 연구결과로부터 판단해 볼 때, 유역형상은 상류에서는 타원에 가까운 형상을 가지나 하류로 이동함에 따라 상하, 좌우가 서로 대칭된 형상으로 진행되는 경향이 존재하는 것으로 보인다.
- 3) 본 연구의 적용결과는 미계측유역으로의 확대적용이 가능할 것으로 판단된다. 보다 일반화된 결과의 획득을 위하여 앞으로 더 많은 유역 및 자료들에 대한 분석이 이루어져야 할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- 김주철(2004), 선형계로 간주한 강우-유출 수문계 대표 순간단위도의 추정, **충남대학교, 박사학위논문.**
- 김주철, 정관수, 김재한(2004), "신집수형상디스크립터와 Nash 모형의 지체시간 사이의 상관성 분석", **한국수자원학회논문집**, 37(12), 1065-1074.
- 김재한(2005), 수문계의 수학적 모형, 선형계를 중심으로, **도서출판새론.**
- 이원환(1999), 최신하천공학, **동명사.**
- 이정식(1987), 유역의 지형 및 강우특성 인자를 고려한 순간단위도에 대한 연구, **연세대학교, 박사학위논문.**
- 양창현(1996), 구조역학, **청문각.**
- Cheng, B. M.(1982), A study of geomorphologic instantaneous unit hydrograph, Ph. D. thesis, Univ. of Illinois, Urbana, Ill.
- Chutha, P., and Dooge, J. C. I.(1990), "The shape parameters of the geomorphologic unit hydrograph", *Journal of Hydrology*, 117, 81-97.
- Eagleson, P. S.(1970) *Dynamic Hydrology*, McGraw-Hill.
- Franchini, M. and O'Connell, P. E.(1996) "An analysis of the dynamic component of the geomorphologic instantaneous unit hydrograph", *Journal of Hydrology*, 175, 407-428.
- Gregory, K. J. and Walling, D. E.(1973), Drainage basin form and process, A geomorphological approach, *Edward Arnold.*
- Gupta, V.K., Rodriguez-Iturbe, I., and Wood, E.F.(1986), Scale problems in hydrology, *D. Reidel Publishing company.*
- Horton, R.E.(1945), "Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology" *Bulletin of the Geological Society of America*, 56, 275-370.
- Klemes, V.(1983) "Conceptualization and scale in hydrology", *Journal of Hydrology*, 65, 1-23.
- Knight, J. L.(1997), "GIS based compactness measurement using fractal analysis", *Proceedings of the 1997 UCGIS annual assembly and summer retreat*, Online. Available: <http://www.spatial.maine.edu/~onsrud/ucgis/testpro/knight/knight.html>
- Moussa, R.(2003), "On morphometric properties of basins, scale effects and hydrological response", *Hydrological Processes*, 17, 33-58.
- Nash, J. E.(1957), "The form of the instantaneous unit hydrograph", *IASH Assemblée Générale de Toronto*, (3), 114-121.
- Nash, J. E.(1960), "A unit hydrograph study, with particular reference to British catchments", *Proceedings of Institution of Civil Engineers.*, 17, 249-282.
- Niemi, R. G., Grofman, B., Carlucci, C. and Hofeller, T.(1990) "Measuring compactness and the role of a compactness standard in a test for partisan and racial gerrymandering", *Journal of Politics*, 52(4), 1155-1181.
- Rodríguez-Iturbe, I. and Valdes, J. B.(1979), "The geomorphologic structure of hydrologic response", *Water Resources Research*, 15(6), 1409-1420.
- Rosso, R.(1984), "Nash model relation of horton order ratios", *Water Resources Research*, 20(7), 914-920.
- Shumm, S.A.(1956), "Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey", *Bulletin of the Geological Society of America*, 67, 597-646.
- Smart, J.S.(1968) "Statistical properties of stream length", *Water resources Resarch*, 15(6), 1409-1420.
- Smart, J. S.(1972), "Channel Networks", *Advances in Hydrosience*, 8, 305-346.
- Strahler, A.N.(1952), "Hypsometric(area-altitude) analysis of erosional topography", *Bulletin of the Geological Society of America*, 63, 1117-1142.

(논문번호:05-77/접수:2005.06.07/심사완료:2005.08.17)