

신집수형상디스크립터와 Nash 모형의 지체시간 사이의 상관성 분석

The Correlation Analysis Between New Catchment Shape Descriptor and The Lag Time of Nash Model

김 주 철* / 정 관 수** / 김 재 한***

Kim, Joo Cheol / Jung, Kwan Sue / Kim, Jae Han

Abstract

This study aims at the introduction of new catchment shape descriptor, developed by Moussa(2003), based on equivalent ellipse and the assessment of its hydrologic applicability. Two descriptors $a+b$ and $a+b+\epsilon OM$ were correlated to the lag time and those were applied to the estimation of representative values of Nash model parameters. They are applied in order to examine the practicality to 3 catchments in Korea, respectively, i.e. Pyeongchanggang catchment in Han river, Bocheongcheon catchment in Geum river and Wicheon catchment in Nakdong river. As a result both of two descriptors show higher correlations to the lag time than classical geomorphologic factors and hereby Moussa's suggestion(2003) is confirmed. For the sake of simplicity the former is recommended. Also representative IUHs derived from this study show consistent basin response characteristics. It is desirable to conduct further more case studies on many other basins.

Keywords : new catchment shape descriptor, equivalent ellipse, Nash model, lag time

요 지

본 연구는 Moussa(2003)에 의하여 개발된 등가타원을 기반으로 한 신집수형상디스크립터에 대한 소개 및 수문학적 적용성 평가를 목적으로 한다. 두 디스크립터 $a+b$, $a+b+\epsilon OM$ 과 지체시간 사이의 상관성 분석이 수행되었고 이를 Nash 모형 매개변수들의 대표치 산정에 적용하였다. 본 연구의 실용성을 조사하기 위하여 한강 수계의 평창강 유역, 금강 수계의 보청천 유역 그리고 낙동강 수계의 위천 유역들에 각각 이 디스크립터들이 적용되었다. 그 결과, 두 디스크립터는 양자 모두 고전적 지형인자들에 비하여 지체시간과 높은 상관성을 보여 Moussa(2003)가 제시한 연구 결과를 국내 유역으로부터 확인할 수 있었고 실제 적용상의 간편성을 위하여 전자가 추천된다. 또한 본 연구로부터 유도된 대표순간단위도들은 일관성 있는 유역응답특성을 보여 신집수형상디스크립터의 수문학적 적용성을 확인할 수 있었다. 앞으로 보다 많은 유역들에 대한 사례분석이 필요한 것으로 판단된다.

핵심용어 : 신집수형상디스크립터, 등가타원, Nash 모형, 지체시간

* 충남대학교 토목공학과 조교
Assistant Teacher, Dept. of Civil Engrg., Chungnam National Univ., Daejeon 305-764, Korea
(E-mail: kjc@cnu.ac.kr)

** 충남대학교 토목공학과 부교수
Associate 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

유역은 수로(channel)와 지표면(overland)의 상호작용을 통하여 강우로 인한 유입량을 유출의 형태로 배수하는 복합적 변환계이다. 따라서 유역의 배수구조에 대한 정량적 묘사 및 수문학적 응답특성과의 상관성 검토는 수문학 분야에서 중요한 문제로서 다루어져 오고 있다.

유역의 배수구조에 대한 기존의 연구는 주로 수로망(channel network)형상의 체계적인 묘사를 중심으로 수행되어 왔다(Smart, 1972; Abraham, 1984). 대표적인 수로망형상디스크립터(channel network shape descriptor)로는 Strahler의 차수법칙에 의한 Horton수를 들 수 있다(Bras, 1990). Rodríguez-Iturbe와 Valdes(1979)는 Horton수로 묘사되는 수로망의 형태적 구조와 유역의 수문학적 응답구조를 이론적으로 결합하여 지형학적 순간단위도 이론을 개발하였다. 특히 이들은 유역의 수문학적 응답특성으로 순간단위도의 침투와 침투시간에 주목하여, 수로망형상디스크립터와 특성유속을 설명변수로 하는 순간단위도의 특성매개변수들에 대한 회귀식을 제안하였다. 이후 이들의 연구 결과를 기반으로 각종 지형학적 순간단위도 모형들이 여러 학자들에 의하여 발표되었다(Gupta 등, 1980; Kirshen과 Bras, 1983; van der Tak과 Bras, 1990; Rinaldo, Marani와 Rigon, 1992; Jin, 1992).

Rosso(1984)는 Nash 모형의 두 매개변수들을 지형학적 순간단위도 이론을 이용하여 동정(identification)하였다. 동일 유역에 대하여 어떠한 경우이든 단 하나의 순간단위도가 존재하여야 한다는 물리적 기초에 입각할 때 Rosso와 Nash의 두 모형들은 일치해야 마땅하다. 이와 같은 관점에서, 본 연구에서는 두 단위도들을 합동시키고자 지형학적 요소들의 이용을 극대화하였다. 이를 위하여 수로망 축척문제를 지리정보체계(geographic information system, GIS)를 이용함으로써 Fractal 기하학이 유역 면적에 적용가능토록 하였다.

Fractal 이론의 대두와 더불어 지형정보 처리기술의 발달은 유역의 배수구조에 대하여 새로운 접근 방향을 제시해 준 바 있다. 주요 연구 사례로서, Tarboton 등(1988)은 수로망의 자기상사성을 수치고도모형(DEM)의 해상도를 이용하여 분석하였고, La Barbera와 Rosso(1989)는 수로망의 Fractal 차원을 Horton 수를 이용하여 유도하였다. 이들의 연구를 통하여 수로망은 지형자료의 해상도에 종속적인 Fractal 도형임이 증명되었고, 사행과 분기에 의하여 두 개의 개별적 Fractal 차원을 가짐이 밝혀졌다. 국내에서는 전민우와 조원철(1992), 고영찬과 선우중호(1998) 등에 의하여 우리나라 수로망의 Fractal 차

원 산정이 수행되었다. 또한 홍일표와 고재웅(1999)은 Fractal 이론을 이용하여 Rosso(1984)의 연구 결과를 개선하고자 시도하였는데, 강우-유출모형 매개변수들의 동정과정에 수로망의 Fractal 특성이 직접 적용된 점이 주목할 만 하다.

최근 Moussa(2003)는 유역의 형상과 동일한 기하학적 특성을 갖는 등가타원을 기반으로 하여 신집수형상디스크립터(new catchment shape descriptor)를 개발하였다. 기존의 디스크립터들이 수로망의 형상 묘사에 치중한 것과 달리, 신집수형상디스크립터는 2차원평면상에서 유역형상의 기하학적 특성 묘사를 특징으로 한다. 특히 Moussa(2003)는 프랑스 남부유역들에 대한 적용결과로부터 수문학적 응답특성과의 우수한 상관성을 발표한 바 있는데, 이는 신집수형상디스크립터를 이용한 강우-유출모형의 매개변수 추정에 대한 가능성을 강하게 시사한다. 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 우리나라 유역에 대한 사례분석을 통하여 신집수형상디스크립터의 수문학적 적용성을 평가해 보고자 한다. 이를 위하여 신집수형상디스크립터와 유출응답특성과의 상관성 검토를 수행하고 이로부터 유도된 상관관계를 이용하여 Nash 모형의 매개변수들에 대한 대표치를 구하고자 하였다. 신집수형상디스크립터의 산정에는 수치고도모형을 적용하고 실제 호우사상자료에 대한 유출분석을 통하여 수문학적 응답특성을 추정한다.

2. 신집수형상디스크립터

2차원평면상의 유역형상을 집수평면이라 할 경우, Moussa(2003)에 의하여 개발된 신집수형상디스크립터는 집수평면과 동일한 기하학적 특성을 가지며 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.

2.1 집수평면의 관성적률

그림 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, Σ 의 중심축 $\overline{Gx'}$, $\overline{Gy'}$ 으로부터의 회전각 ω 는 단면의 기하학적 성질에 따라 식 (1)과 같이 유도할 수 있다(양창현, 1996; Moussa, 2003).

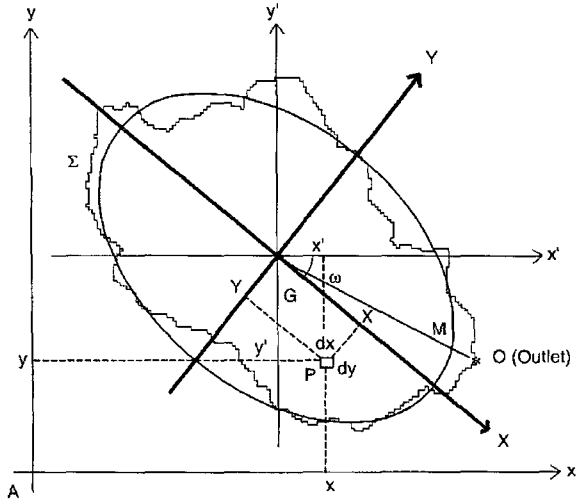


그림 1. 집수평면과 등가타원(Moussa, 2003)

$$\tan 2\omega = \frac{2I_{x'y'}}{I_{y'} - I_{x'}} \quad (1)$$

여기서 $I_{x'}$, $I_{y'}$, $I_{x'y'}$ 은 $x'Gy'$ 상에서 Σ 의 관성적률로서 각각 다음과 같이 정의된다.

$$I_{x'} = \int \int_{\Sigma} y'^2 dx' dy' \quad (2)$$

$$I_{y'} = \int \int_{\Sigma} x'^2 dx' dy' \quad (3)$$

$$I_{x'y'} = \int \int_{\Sigma} x'y' dx' dy' \quad (4)$$

XGY 상에서, Σ 는 다음과 같이 정의되는 최소관성적률 I_{\min} 과 최대관성적률 I_{\max} 을 갖는다(양창현, 1996; Moussa, 2003).

$$I_{\min} = \frac{I_{x'} + I_{y'}}{2} - \left[\left(\frac{I_{x'} - I_{y'}}{2} \right)^2 + (I_{x'y'})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$I_{\max} = \frac{I_{x'} + I_{y'}}{2} + \left[\left(\frac{I_{x'} - I_{y'}}{2} \right)^2 + (I_{x'y'})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Moussa(2003)는 식 (5), (6)의 비 R_i 를 Σ 의 신장도로서 사용할 것을 제안하였다.

$$R_i = \frac{I_{\min}}{I_{\max}} \quad (7)$$

여기서 R_i 는 0~1의 범위로서 유역이 신장될수록 작은 값을 갖는다.

2.2 등가타원

타원의 일반식은 식 (8)과 같다.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (8)$$

여기서 a , b 는 각각 장축과 단축의 길이로서 해당 타원의 관성주축과 동일한 방향을 갖는다. 식 (8)과 같은 타원의 면적 A_e , 최소관성적률 $I_{\min,e}$ 그리고 최대관성적률 $I_{\max,e}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$A_e = \pi ab \quad (9)$$

$$I_{\min,e} = \frac{\pi ab^3}{4} \quad (10)$$

$$I_{\max,e} = \frac{\pi a^3 b}{4} \quad (11)$$

따라서 식 (8)과 같은 타원의 신장도를 식 (7)에 따라 산정하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{I_{\min,e}}{I_{\max,e}} = \left(\frac{b}{a} \right)^2 \quad (12)$$

그림 1에서 Σ 의 면적을 S_0 라 할 경우, 등가타원은 전술한 정의에 따라 Σ 와 동일한 면적과 R_i 를 갖게 된다. 따라서 Σ 와 등가타원 사이에는 식 (13), (14)와 같은 관계가 성립한다.

$$S_0 = \pi ab \quad (13)$$

$$R_i = \left(\frac{b}{a} \right)^2 \quad (14)$$

위의 두 식을 연립할 경우 등가타원의 장축과 단축의 길이를 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$a = \left[\frac{S_0}{\pi} \left(\frac{1}{R_i} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

$$b = \left[\frac{S_0}{\pi} (R_i)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

Moussa(2003)는 이상의 과정을 통하여 유도되는 등가타원의 기하학적 특성인 ω , R_i , a 그리고 b 를 Σ 의 신집수형상디스크립터로서 정의하였다.

2.3 출구의 위치를 고려한 등가타원의 기하학적 특성

Σ 의 형상이나 출구의 위치와 같은 유역의 형태적 특성과 수문학적 응답특성 사이에는 밀접한 상관성이 존재할 수 있음을 쉽게 예상할 수 있다. 하지만 전술한 디스크립터들은 등가타원을 기반으로 Σ 의 기하학적 특성만을 묘사하고 있을 뿐, 출구의 위치와는 독립적인 관계를 갖는다. Moussa(2003)는 등가타원과 출구의 관계를 고려하기 위하여 그림 1의 선분 GO , GM 그리고 OM 을 추가로 신집수형상디스크립터로서 정의하였다. 여기서 O 는 출구, M 은 선분 GO 와 등가타원 경계 사이의 교점이다.

이상과 같은 각종 형상디스크립터들에 대한 정의를 이용하여 Moussa(2003)는 Σ 와 O 사이의 평균거리를 특성화할 수 있는 다음과 같은 신집수형상디스크립터를 최종적으로 제안하였다.

$$a+b = \left(r^{\frac{1}{2}} + r^{-\frac{1}{2}} \right) \left[\frac{S_0}{\pi} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

$$a+b+\epsilon OM \quad (18)$$

여기서 $r = \frac{a}{b}$ 이고 ϵ 은 O 가 타원의 외부에 위치할 경우에는 $+1$, 내부에 위치할 경우에는 -1 의 값을 갖는다. 식 (17)은 등가타원의 장축과 단축의 합으로서 Σ 와 O 사이의 평균거리를 특성화하게 된다. 한 가지 고려할 사항은 일반적으로 Σ 의 형상과 등가타원이 서로 일치하지 않는 점으로서 Σ 의 일부는 항상 등가타원의 외부나 내부에 위치하게 된다. 식 (18)은 마지막 항 ϵOM 을 이용하여 이러한 부분 특히 출구의 위치를 고려하게 된다.

3. 신집수형상디스크립터의 수문학적 적용

3.1 지체시간과의 상관성 분석

유역의 지체시간에 대한 정의는 집수평면과 출구 사이의 평균거리를 특성화하는 신집수형상디스크립터 $a+b$, $a+b+\epsilon OM$ 과의 밀접한 상관성을 암시한다. Moussa(2003)는 자신의 연구에서 양자 사이에 선형 및 지수함수형 관계를 가정하고 높은 상관성을 발표한 바 있는데 본 연구에서는 보다 일반적인 형태의 관계식 유도를 위하여 여기에 식 (19)와 같은 멱함수형 상관관계를 추가하였다.

$$t_L = \alpha_0 L_e^{\alpha_1} \quad (19)$$

여기서 L_e 는 신집수형상디스크립터이고 α_0 , α_1 은 회귀계수이다.

3.2 Nash 모형의 대표매개변수 추정

개념적 순간단위도인 Nash 모형은 유역의 수문학적 응답과정을 n 개의 동등한 선형저수지 계열을 통한 추적으로서 다음과 같이 모의한다.

$$h(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k} \right)^{n-1} e^{-\frac{t}{k}} \quad (20)$$

여기서 n 은 선형저수지의 개수, k 는 선형저수지의 저류상수 그리고 $\Gamma(\cdot)$ 는 Gamma 함수이다. Nash 모형의 지체시간은 적분법에 의하여 식 (21)과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_L = nk \quad (21)$$

만약 식 (19)에 의하여 신뢰성 있는 지체시간 추정치가 주어질 경우 특정유역에 대한 Nash 모형의 두 매개변수는 식 (21)의 관계를 이용하여 시행착오적으로 결정할 수 있다. 하지만 이는 호우사상자료의 정확도에 종속적인 결과로서, 보다 신뢰성 있는 대표매개변수의 추정을 위하여 본 연구에서는 매개변수 근사치와 식 (19)에 의한 지체시간 사이의 상관관계를 분석하고 특히 밀접한 상관성이 예측되는 지체시간 t_L 과 저류상수 k 사이의 상관관계를 식 (22)와 같이 구성하여 대표매개변수의 추정에 이용하였다.

$$k = \beta_0 t_L^{\beta_1} \quad (22)$$

여기서 β_0 , β_1 은 회귀계수이다.

4. 대상유역의 현황

4.1 대상유역의 선정

본 연구에서는 대상유역으로 국제수문개발계획(IHP) 대표유역인 한강수계의 평창강 유역, 금강수계의 보청천 유역 그리고 낙동강 수계의 위천 유역을 선정하였다. 유역별 수문학적 응답특성과 신집수형상디스크립터 사이의 상관성 검토를 위하여 유역내 설치된 총 17개 수위표 지점에 대하여 분석을 수행할 수 있도록 하였다. 그림 2~4는 대상유역내 수위표 설치 현황을 본 연구에서 Arc View를 이용하여 도시한 배수유역도이다.

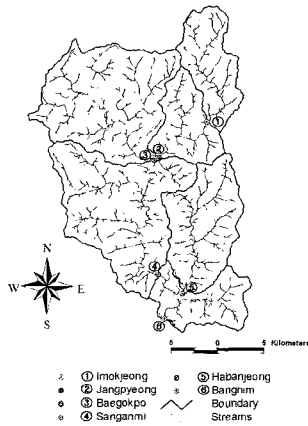


그림 2. 평창강 배수유역도

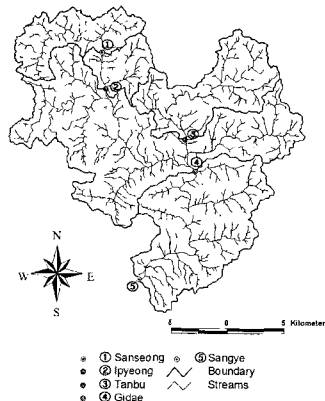


그림 3. 보청천 배수유역도

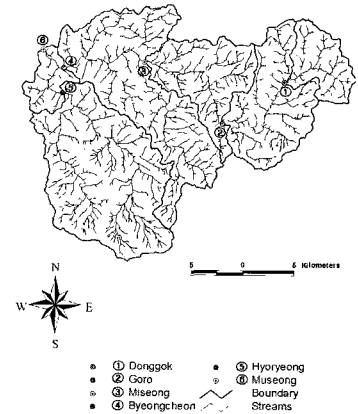


그림 4. 위천 배수유역도

4.2 자료수집 및 유효우량주상도 작성

17개 수위표 지점의 1983~2000년 기간에 대한 호우 사상자료를 수집하였다(건설부, 1991; 건설부/건설교통부, 1990-2000). 직접유출수문곡선을 작성하기 위하여 기저유출분리에는 경사급변점법을 적용하였다(이정식, 1987; Nathan과 McMahon, 1990; 문창진, 2001). 일반적으로 각종 기저유출분리법들 중, 가장 정확한 결과를 제공하는 방법은 주지하수감수곡선법인 것으로 알려져 있다. 하지만 정확한 주지하수감수곡선을 유도하는 것은 매우 어려운 작업일 뿐만 아니라, 본 연구의 범위를 벗어나는 것으로 판단되었다. 따라서 감수곡선의 꼬리 부분이 반대수지상에서 이루는 직선 경사를 조사하여 기저유출분리를 수행하였다. 이렇게 작성된 직접유출수문곡선의 상승시점 이전까지의 강우량은 초기손실로 취하고, 그 이후의 손실량은 일정 손실율로 가정하는 초기손실-일정손실법을 적용하여 유효우량주상도를 작성하였다. 각 수위표 지점별로 4~8개의 사상들이 선정되었으며, 평창강유역 33개, 보청천유역 31개 그리고 위천유역 33개로 총 97개의 사상을 분석에 적용하였다(김주철, 2004).

5. 적용 사례

5.1 집수평면의 추출 및 신집수형상디스크립터의 선정

17개 수위표 지점에 대한 집수평면을 수치고도모형으로부터 추출하였다. 수치고도모형의 생성에는 1/25,000 축척의 수치지도를 이용하였고 격자 크기는 20m를 적용하였다. 또한 실제 하천자료와의 오차를 줄이기 위하여 fillburn DEM 기법을 수치고도모형의 전처리에 적

용하였다(정인균과 김성준, 2003). 집수평면의 관성적률은 grid형 유역도의 격자 중심점들의 좌표로부터 계산하였다. 이를 위하여 Arc Info를 이용하여 grid형 유역도를 작도하고 point형 속성파일로 변환하여 격자 중심점들의 좌표를 생성하였다.

표 1은 수위표 지점별 신집수형상디스크립터의 선정 결과들을 나타낸 것이며, 이에 해당되는 등가타원들을 지면관계상 평창강의 이목정, 보청천의 산성 그리고 위천의 동곡 수위표 지점들에 대하여 예시한 것이 그림 5~7이다. 표 1에서 주목되는 두드러진 특징은 우선 집수평면의 중심축과 관성주축 사이의 회전각 ω 에 대한 선정결과로서 모든 수위표 지점에서 두 축이 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 또한 출구와 등가타원의 경계 사이의 거리 OM 이 대부분 2km이하로 비교적 짧게 선정되었는데, 이로 인하여 디스크립터 $a+b$ 와 $a+b+\epsilon OM$ 이 큰 차이를 보이지 않음을 확인할 수 있다. 이는 Moussa(2003)가 발표한 프랑스 유역들에 대한 분석 결과와는 상이한 양상을 보여준다. 하지만 이러한 결과들이 국내 유역 형상의 고유한 특성으로 판단하기는 어려운 것으로 보이며 추후 보다 많은 유역들에 대한 적용 및 분석이 필요할 것으로 사료된다.

5.2 신집수형상디스크립터와 지체시간 사이의 상관성 분석

3개 대상유역에 대하여 신집수형상디스크립터 $a+b$, $a+b+\epsilon OM$ 과 지체시간 t_L 사이의 상관성을 검토하였다. 또한 고전적 지형인자인 유로연장 L 과 유역중심장 L_{ca} 그리고 지형학적 순간단위도 이론의 규모 매개변수인 최고차수 하천길이 L_{Ω} 와의 상관성 분석 역시 병행하여 양자의 결과를 비교할 수 있도록 하였다. 고전

표 1. 수위표 지점별 신집수형상디스크립터의 산정 결과

유역		R_i	$\omega(\text{rad})$	$a(\text{km})$	$b(\text{km})$	$a+b(\text{km})$	$a+b+\epsilon OM(\text{km})$
평창강	이북정	0.21	1.57080195	6.20	2.86	9.06	9.19
	장평	0.23	1.57079885	8.37	4.00	12.37	14.64
	백옥포	0.78	-0.00001212	7.19	6.37	13.56	15.10
	상안미	0.56	1.57079728	12.93	9.69	22.62	24.65
	하반정	0.33	1.57079247	6.91	3.94	10.85	12.23
	방립	0.44	1.57079746	15.88	10.58	26.46	26.97
보청천	산성	0.23	0.00000857	5.73	2.73	8.46	7.31
	이평	0.30	-0.00001227	6.66	3.65	10.31	10.83
	탄부	0.41	0.00000596	6.22	3.97	10.19	11.55
	기대	0.41	0.00000078	13.29	8.48	21.77	20.35
	산계	0.98	-0.00000965	12.49	12.36	24.86	26.59
위천	동곡	0.66	1.57084871	3.61	2.94	6.55	7.40
	고노	0.66	1.57078274	6.54	5.31	11.85	13.30
	미성	0.50	-0.00000121	8.77	6.23	15.00	17.60
	병천	0.38	0.00000218	12.52	7.70	20.22	22.01
	효령	0.61	1.57080394	7.84	6.11	13.95	15.49
	무성	0.53	0.00000160	14.38	10.46	24.84	25.43

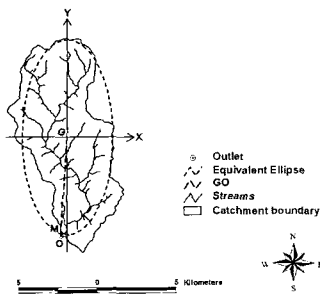


그림 5. 이북정지점 등가타원

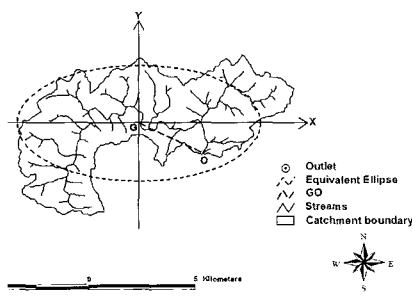


그림 6. 산성지점 등가타원

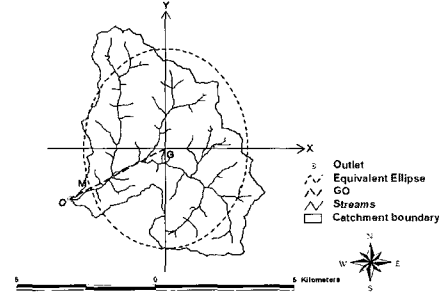


그림 7. 동곡지점 등가타원

적 지형인자들의 산정을 위한 수로망 추출에는 Arc View에서 운용되는 Hydro Extension을 이용하였고, 유역의 중심 및 하천차수산정의 자동화를 위하여 각각 Centroid as Point shape 메뉴와 Strahler stream order Extension을 적용하였다(김주철, 2004). 호우사상별 t_L 은 유효우량추상도와 직접유출수문곡선의 질량중심 사이의 거리를 측정하여 결정하였고 이들을 산술평균하여 평균지체시간 \bar{t}_L 를 산정하였다. 표 2는 수위표 지점별 \bar{t}_L 의 산정 결과이다.

표 3은 대상유역별 상관계수 산정결과로서 신집수형상디스크립터들이 고전적 지형인자에 비하여 양자 모두 매우 높은 상관관계를 나타냄을 알 수 있다. 대부분의 상관계수 값이 약 0.95 이상으로 Moussa(2003)의 연구 결과에서 발표되었던 것과 유사한 수준임을 확인할 수 있다. 여기서 한가지 주목되는 사항은 유로연장 역시 비교적 높은 상관관계를 나타내는 것으로서, 수문학적

응답특성과 밀접한 관련이 있는 중요한 지형인자임을 확인할 수 있다는 것이다.

신집수형상디스크립터 $a+b$, $a+b+\epsilon OM$ 에 대한 지체시간 회귀식을 멱함수형 회귀모형을 적용하여 식 (23)~(28)과 같이 산정하였다. 디스크립터의 산정 과정에서 예상했던 대로 두 디스크립터들은 현저한 차이를 나타내지 않았으며, 본 연구에서는 실제 적용상의 간편성을 고려하여 디스크립터 $a+b$ 를 이용한 지체시간 회귀식을 산정하였다. 물론 후자의 디스크립터들을 이용할 수 있음을 밝혀둔다. 그림 8은 디스크립터 $a+b$ 와 지체시간 t_L 사이의 상관관계를 양대수지상에 도시한 것이다.

1) 평창강 유역

$$t_L = 2.68(a+b)^{0.56} \quad r = 0.98 \quad (23)$$

$$t_L = 2.54(a+b+\epsilon OM)^{0.56} \quad r = 0.96 \quad (24)$$

표 2. 수위표 지점별 평균지체시간

유역		t_L (hr)
평창강	이목정	9.24
	장평	10.56
	백옥포	12.09
	상안미	14.43
	하반정	10.06
	방림	17.39
보청천	산성	7.47
	이평	10.62
	탄부	11.51
	기대	15.33
	산계	18.64
위천	동곡	5.24
	고노	6.61
	미성	7.39
	병천	8.37
	효령	6.78
	부성	11.58

표 3. 유역별 지형인자와 지체시간 사이의 상관계수

유역	상관관계	L (km)	L_{ca} (km)	L_{Ω} (km)	$a+b$ (km)	$a+b+\epsilon OM$ (km)
평창강	선형	0.97	0.90	0.86	0.98	0.97
	지수함수	0.97	0.90	0.84	0.98	0.98
	멱함수	0.97	0.88	0.73	0.98	0.96
보청천	선형	0.96	0.93	0.21	0.96	0.99
	지수함수	0.91	0.89	0.18	0.92	0.96
	멱함수	0.96	0.94	-0.19	0.94	0.99
위천	선형	0.89	0.52	0.02	0.96	0.93
	지수함수	0.94	0.61	0.10	0.98	0.97
	멱함수	0.90	0.68	-0.08	0.95	0.92

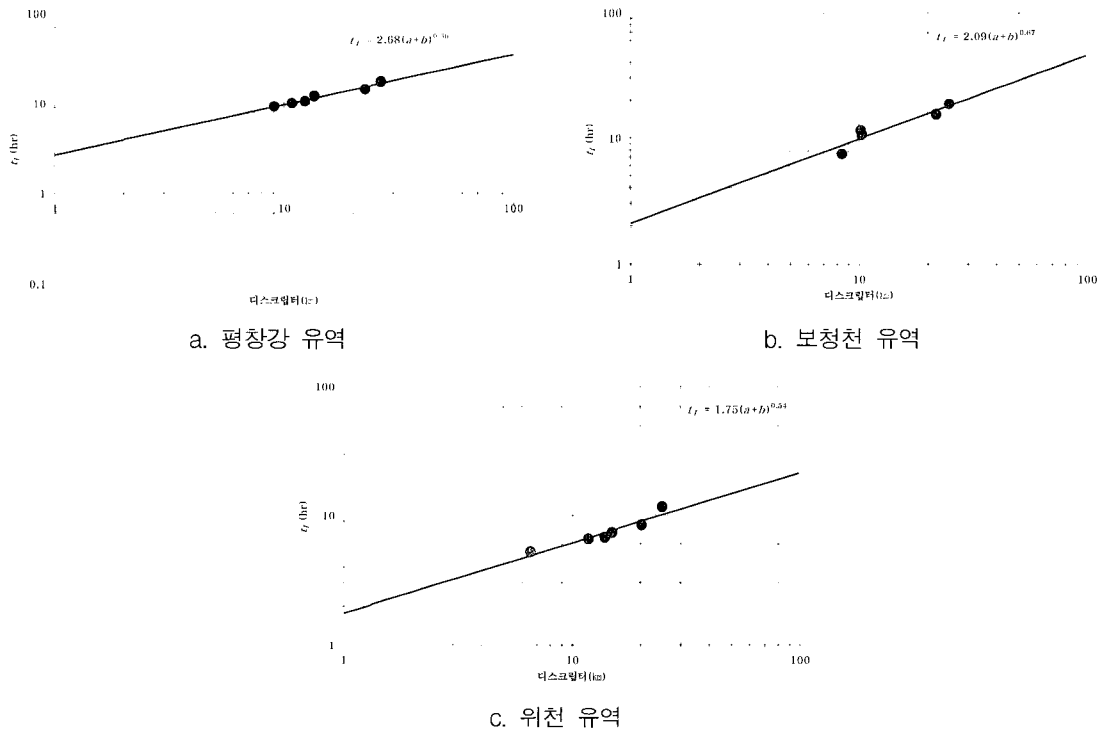


그림 8. 디스크립터 $a+b$ 와 지체시간 사이의 상관관계

2) 보청천 유역

$$t_L = 2.09(a+b)^{0.67} \quad r = 0.94 \quad (25)$$

$$t_L = 2.08(a+b+\epsilon OM)^{0.67} \quad r = 0.99 \quad (26)$$

3) 위천 유역

$$t_L = 1.75(a+b)^{0.54} \quad r = 0.95 \quad (27)$$

$$t_L = 1.57(a+b+\epsilon OM)^{0.56} \quad r = 0.92 \quad (28)$$

1) 평창강

$$k = 0.86t_L^{0.85} \quad r = 0.79 \quad (29)$$

2) 보청천

$$k = 0.96t_L^{0.69} \quad r = 0.73 \quad (30)$$

3) 위천

$$k = 0.69t_L^{0.69} \quad r = 0.97 \quad (31)$$

5.3 Nash 모형의 대표매개변수 추정

수위표 지점별 Nash 모형 매개변수의 근사치를 시행 착오법을 적용하여 추정하였다. 형상매개변수 n 을 1로부터 0.001씩 증가시켜 각 사례별로 유출수문곡선을 모의하고, 관측수문곡선과의 오차 제곱의 합이 최소가 되는 두 매개변수들을 조사하여 수위표 지점별 매개변수 근사치로 결정하였다. 이로부터 결정된 저류상수 k 와 지체시간 사이의 상관식과 상관계수 r 을 나타낸 것이 식 (29)~(31)이다. 그림 9는 저류상수 k 와 지체시간 사이의 상관관계를 양대수지상에 도시한 것이다. 식 (29)~(31)에 나타난 바와 같이, 위천을 제외한 나머지 두 유역들의 상관관계는 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 하지만 유역현상의 규명과정에서 실제로 상당한 어려움을 가지는 점을 고려한다면 평창강과 보청천 유역에 대한 결과도 채택될 수 있을 것으로 판단된다(Němec, 1972, p. 140). 참고로 Němec은 상관계수 r 이 0.6 이상이면 양호한 관계라고 언급한 바 있다.

표 4는 전술한 신집수형상디스크립터 $a+b$ 에 대한 지체시간 회귀식과 저류상수 k 와 지체시간 사이의 상관식으로부터 산정된 수위표 지점별 대표매개변수의 추정결과이고 그림 10은 대상유역별로 대표순간단위도를 도시한 결과로서, 3개 유역 모두에서 하류방향으로 진행함에 따라 침투는 작아지고 침투시간은 길어지는 일관성 있는 응답특성을 확인할 수 있다.

대표순간단위도의 실무 적용성 분석을 위하여, 수위표 지점별 1시간 대표단위도를 유도하여 대표매개변수 추정에 이용한 호우사상에 적용하여 보았다. 모의된 유출수문곡선에 대한 정량적 평가를 위하여 효율계수를 산정해 본 결과, 대부분의 사상에서 0.8이상으로 나타나 우수한 적용성을 확인할 수 있었다(김주철, 2004). 여기서 효율계수란 모의된 직접유출 수문곡선의 재현정도를 평가하기 위하여 Nash와 Sutcliffe(1970)에 의하여 제안된 결정계수와 유사한 형태의 지표로서 1에 가까울수록 우수한 재현정도를 의미한다.

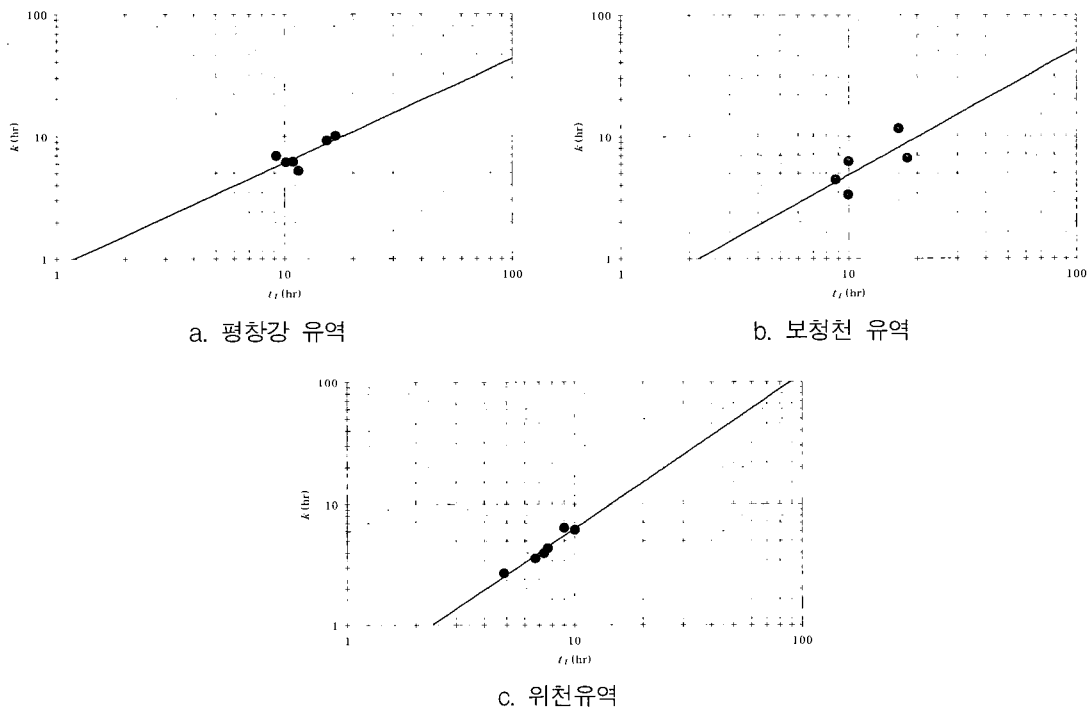


그림 9. 저류상수 k 와 지체시간 사이의 상관관계

표 4. 수위표 지점별 대표매개변수

유역		n	$k(\text{hr})$
평창강	이북정	1.63	5.64
	장평	1.68	6.53
	백옥포	1.69	6.82
	상안미	1.77	8.68
	하반정	1.66	6.14
보청천	방립	1.79	9.35
	산성	2.08	4.21
	이평	2.07	4.83
	탄부	2.07	4.79
	기대	2.04	8.12
위천	산계	2.03	8.90
	동곡	1.93	2.52
	고노	1.77	3.80
	미성	1.71	4.47
	병천	1.64	5.49
	효령	1.73	4.25
	무성	1.59	6.33

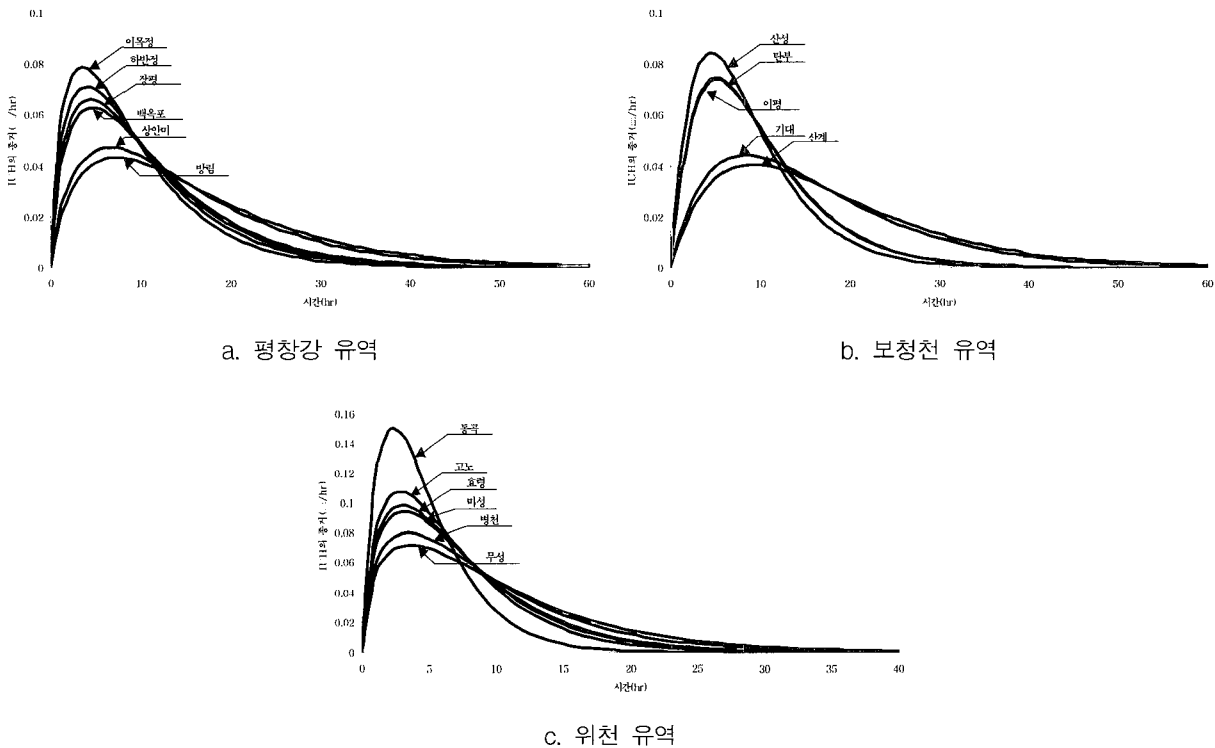


그림 10. 대상유역별 Nash 모형

6. 결 론

본 연구에서는 유역의 집수평면과 동일한 기하학적 특성을 갖는 등가타원을 기반으로 한 신집수형상디스크립터와 유역지체시간 사이의 상관성을 분석하고 대표순간단위도 유도에 적용하여 보았다. 수치고도모형을 이용하여 신집수형상디스크립터를 산정하였고, 대표순간단위도의 유도에는 Nash 모형을 이용하였다. 이상으로

부터의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 두 신집수형상디스크립터 $a+b$, $a+b+cOM$ 과 지체시간 사이의 상관성은 양자 모두 높게 나타남을 볼 수 있어 Moussa(2003)가 제시한 연구 결과를 국내 유역으로부터 확인할 수 있었다. 양자 사이의 상대적 우수성은 판단하기 어려웠으므로 실제 적용상의 간편성을 위하여 전자의 디스크립터가 추천된다.
- (2) Nash 모형의 대표매개변수들을 추정된 결과, 3개 유

역들 모두에서 하류방향으로 진행함에 따라 침두는 작아지고 침두시간은 길어지는 일관성 있는 응답특성을 확인할 수 있었다. 모의된 유출수문곡선에 대한 정량적 평가를 위하여 효율계수를 산정해 본 결과, 대부분의 사상에서 우수한 적용성을 확인할 수 있었다.

(3) 기존의 수로망형상디스크립터인 Horton수를 기반으로 하는 지형학적 순간단위도 이론과 신집수형상디스크립터를 결합할 경우 보다 실제유역의 형상에 가까운 유출모의를 기대할 수 있을 것으로 보인다. 또한, 이는 미계측 유역의 유출예측에 직접적인 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대되므로, 앞으로 많은 유역들에 대한 사례분석이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

건설부 (1991). **수자원관리기법개발 연구조사사업보고서 별책부록 홍수수문자료집**.

건설부/건설교통부 (1990-2000). **국제수문개발계획(IHP) 대표유역보고서**.

고영찬, 선우중호 (1998). “이목정 소유역의 하천차수를 고려한 프랙탈 차원의 산정”, **한국수자원학회논문집**, 31(5), 587-597.

김주철 (2004). 선형계로 간주한 강우-유출 수문계 대표 순간단위도의 추정, **충남대학교, 박사학위논문**.

전민우, 조원철 (1992). “지형도 축척에 따른 하천 수로망과 분류 하천길이에 관한 Fractal Dimension”, **대한토목학회논문집**, 12(4-1), 97-106.

문창건 (2001). 유역응답시간 특성 분석에 관한 연구, **금오공과대학교, 석사학위논문**.

양창현 (1996). 구조역학, **청문각**.

이정식 (1987). 유역의 지형 및 강우특성 인자를 고려한 순간단위도에 대한 연구, **연세대학교, 박사학위논문**.

정인균, 김성준 (2003). “효과적인 유역 및 하도망 추출을 위한 DEM전처리 방법의 비교”, **대한토목학회논문집**, 23(3D), 393-400.

홍일표, 고재웅 (1999). “하천의 프랙탈 특성을 고려한 지형학적 순간단위도의 개발(I)”, **한국수자원학회논문집**, 32(5), 565-577.

Abraham, A. D. (1984). “Channel network: A geomorphological perspective”, *Water Resources Research*, 20(2), 161-188.

Bras, R. L. (1990). Hydrology-An Introduction to Hydrologic Science, *Addison-Wesley*.

Gupta, V. K., Waymire, E. and Wang, C. T. (1980). “A Representation of an instantaneous unit

hydrograph from geomorphology”, *Water Resources Research*, 16(5), 855-862.

Jin, C. X. (1992). “A deterministic gamma type geomorphologic instantaneous unit hydrograph based on path types”, *Water Resources Research*, 28(2), 479-486.

Kirshen, D. M. and Bras R. L. (1983). “The linear channel and its effect on the geomorphologic IUH”, *Journal of Hydrology*, 65, 175-208.

La Barbera, P. and Rosso, R. (1989). “On the fractal dimension of stream networks”, *Water Resources Research*, 25(4), 735-741.

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. and Sutcliffe, J. V. (1970). “River flow forecasting through conceptual models. Part I - A Discussion on principles”, *Journal of Hydrology*, 10, 282-290.

Nathan, R. J. and McMahon, T. A. (1990). “Evaluation of automated techniques for base flow and recession analysis”, *Water Resources Research*, 26(7), 1465-1473.

Němec, J.(1972). Engineering hydrology, *McGraw-Hill*.

Rinaldo, A., I., Marani, A. and Rigon, R. (1992). “Geomorphological dispersion”, *Water Resources Research*, 27(4), 513-525.

Rodríguez-Iturbe, I. and Valdes, J. B. (1979). “The geomorphologic structure of hydrologic response”, *Water Resources Research*, 15(6), 1409-1420.

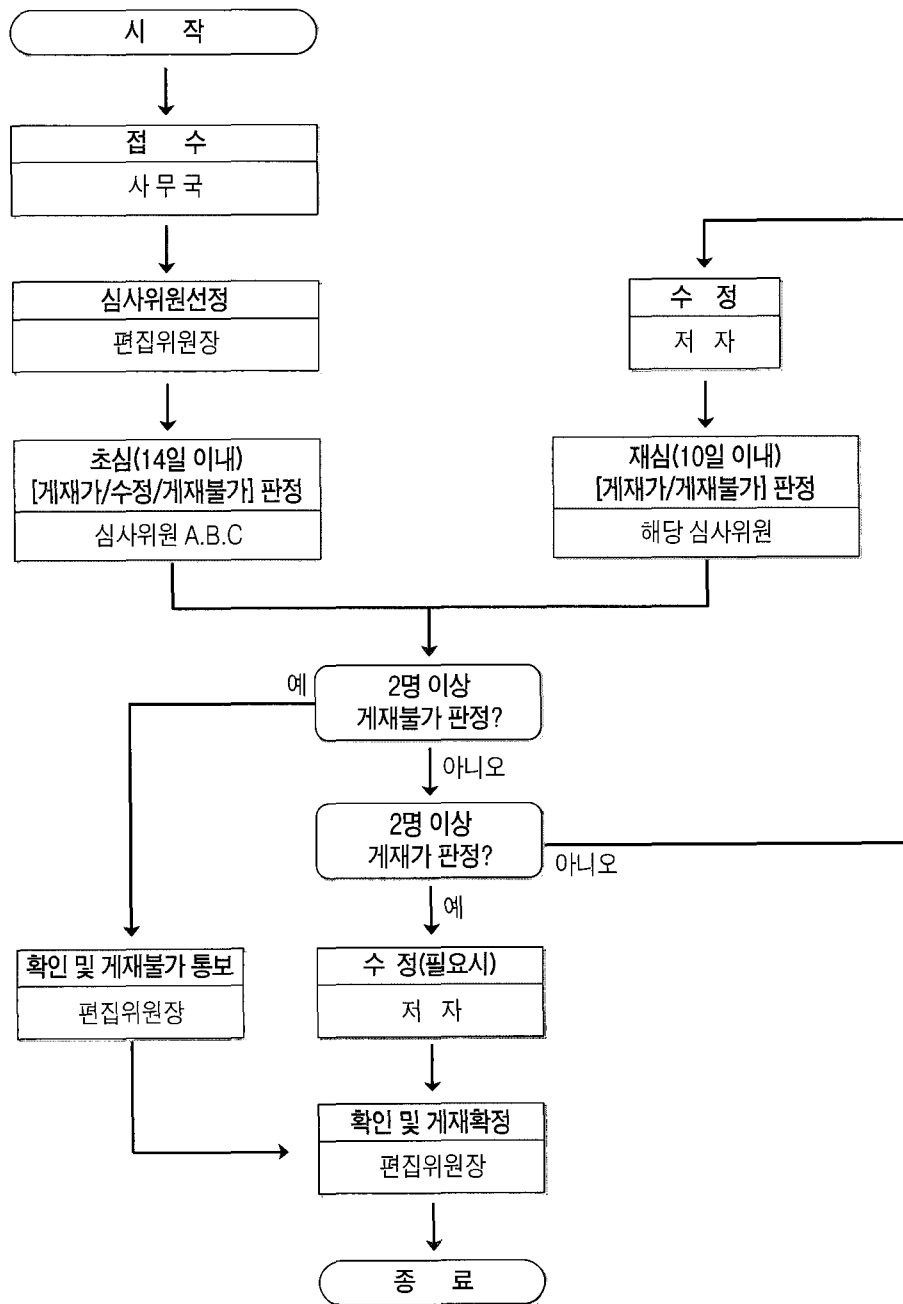
Rosso, R. (1984). “Nash model relation of horton order ratios”, *Water Resources Research*, 20(7), 914-920.

Smart, J. S. (1972). “Channel Networks”, *Advances in Hydrosience*, 8, 305-346.

Tarboton, D. G., Bras, R. L. and Rodríguez-Iturbe, I. (1988). “The fractal nature of river networks”, *Water Resources Research*, 24(8), 1317-1322.

van der Tak, L. D. and Bras, R. L. (1990). “Incorporating hillslope effects into the geomorphologic instantaneous unit hydrograph”, *Water Resources Research*, 26(10), 2393-2400.

(논문번호:04-89/접수:2004.09.30/심사완료:2004.11.29)



한국수자원학회 논문심사 흐름도

* 논문심사에 소요되는 기간은 초심(14일 이내)과 재심(10일 이내)을 포함하여 3개월 이내에 처리함을 원칙으로 하며, 논문심사와 관련된 행정처리는 학회 사무국이 담당한다. 저자가 6개월 이내에 논문수정에 응하지 않을 경우 게재불가로 처리한다. 토의 및 회답은 논문집 편집위원회에서 처리한다.