

# 미계측유역의 유출량 산정을 위한 IHACRES모형의 매개변수 지역화에 관한 연구

## A Study of the IHACRES Model's Parameters regionalization for Discharge Computation on Ungaged Catchment

유철상\*, 박용희\*\*

Yoo, Chulsang, Park, Yong Hee

### 요 지

장기간의 유출량 자료 모의를 위해서는 계량적(metric), 개념적(conceptual), 또는 물리적(physical) 모형 등의 강우-유출 모형을 이용하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 남한강상류 유역과 평창강 유역의 13개 수위관측소를 대상으로 하여 IHACRES 모형의 매개변수를 평가하였다. 또한 이들 매개변수를 유역면적, 유로연장, 하천경사, 유역경사 등 유역특성인자들과 회귀분석하여 그 연관성을 확인하여 보았다. 그 결과 IHACRES 모형의 매개변수는 유역의 특성을 잘 반영하고 있음을 확인할 수 있었으며, 이러한 관계를 이용하여 충주댐 유역 내 13개 수위관측소의 수위-유량관계곡선식을 재평가 할 수 있었다.

**핵심용어:** IHACRES 모형, 매개변수 추정, 지역화

### 1. 서 론

장기간의 유출량 자료 모의를 위해서는 계량적(metric), 개념적(conceptual), 또는 물리적(physical) 모형 등의 강우-유출 모형을 이용하는 것이 일반적이다. 현재까지 장기유출의 모의를 위한 많은 모형들이 개발되었으며, 본 연구에서는 이러한 모형 중 하나인 IHACRES 모형 (identification of unit hydrograph and component flows from rainfall evaporation and streamflow data; Jakeman와 Hornberger, 1990; 1993)을 남한강상류 유역과 평창강 유역의 13개 수위관측소를 대상으로 적용하여 그 매개변수를 평가해 보고자 한다. 또한 이들 매개변수를 유역면적, 유로연장, 하천경사, 유역경사 등 유역특성인자들과 회귀분석하여 그 연관성을 확인해 보고, 또한 이를 수위-유량관계곡선식 또는 관측유량의 정도를 평가하는데 적용해 보고자 한다.

### 2. IHACRES 모형

IHACRES 모형은 혼성개념모형으로서 유역의 기온 및 강우자료를 이용하여 유출을 모의한다. 이모형은 강우를 유효강우로 변환시키는 비선형 손실모듈(non-linear loss module)과 유효강우를

\* 고려대학교 사회환경시스템공학과 교수 E-mail: envchul@korea.ac.kr

\*\* 고려대학교 사회환경시스템공학과 석사과정 E-mail: nana02p@korea.ac.kr

유출로 변환시키는 선형모듈(linear module)로 구성되어 있다. 비선형 손실모듈에서는 기후, 토양 및 토지이용을 고려하여 토양수분지수의 변화를 나타내고, 이의 변화를 통하여 유효우량을 계산한다. 선형모듈에서는 선형저수지개념을 사용하며 선형저수지의 배열을 병렬(parallel) 또는 직렬(series stores)로 구성하여 유역의 유출특성을 표현한다.

## 2.1 모형의 구조

IHACRES 모형은 크게 두 개의 모듈로 구성되어 있다. 비선형 손실 모듈은 강우를 유효강우로 변환시키며 선형모듈은 유효강우를 유출로 변환시킨다. 먼저 비선형 손실모듈에서 시간  $k$ 에 따른 유효강우  $u_k$ 는 다음 식에 의해 계산된다.

$$u_k = s_k r_k \quad (1)$$

여기서  $r_k$ 는 강우량이며  $s_k$ 는 토양수분지수(soil moisture index)를 나타낸다. 토양수분지수는 아래와 같이 선행토양수분지수 및 현재의 강우량을 고려하여 결정된다.

$$s_k = cr_k + \left(1 - \frac{1}{\tau_w(t_k)}\right) s_{k-1} \quad (2)$$

위 식에서  $\tau_w$ 는 유역건조율(drying rate of catchment)을 나타내며 무강우 기간동안 토양수분지수를 감소시키는 역할을 한다. 또한, 유역건조율이 크면 선행토양수분지수에 좀 더 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.  $c$ 는 체적저류상수(volumetric storage coefficient)로서 계산기간 동안 유효강우의 체적과 총 유출의 체적을 같게 하는 역할을 한다. 일반적으로 불투수층의 면적이 크거나 또는 유역의 포화된 상태를 유지하는 비율이 클수록 큰 값을 나타낸다. 유역건조율은 아래와 같은 간단한 식에 의해 계산된다.

$$\tau_w(t_k) = \tau_w^0 \exp[(20 - t_k)f] \quad (3)$$

위 식에서  $t_k$ 는 일평균기온이고  $f$ 는 온도조정계수(temperature modulation of drying rate)로써 온도변화의 영향정도를 결정한다.  $\tau_w^0$ 는 유역의 기준건조율(drying rate of reference temperature)이며 증발율의 초기값을 나타낸다.

총 유출은 직접유출(빠른 흐름; quick flow)과 기저유출(느린 흐름; slow flow)로 구분되며, 각각은 당일 기여분의 합으로 표현된다. 선형모듈에서는 비선형 손실모듈에서 계산된 유효강우를 시간에 따라 유출량으로 변환시킨다.

$$q_k = t_q(k) + t_s(k) \quad (4)$$

$$t_q(k) = -\alpha_q t_q(k-1) + \beta_q u(k) \quad (5)$$

$$t_s(k) = -\alpha_s t_s(k-1) + \beta_s u(k) \quad (6)$$

위 식에서  $q_k$ 는 총유출량을 나타내고  $t_q$ 와  $t_s$ 는 각각 직접유출과 기저유출을 나타낸다. 매개변수  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 직접유출과 기저유출의 발생시간(당일 또는 익일) 조절을 위해 도입된 것으로 다음과 같은 관계를 갖는다. 여기서  $\Delta$ 는 시간간격 이다.

$$\tau_q = -\Delta / \ln(-\alpha_q) \quad (7)$$

$$\tau_s = -\Delta / \ln(-\alpha_s) \quad (8)$$

$$v_s = 1 - v_p = \frac{\beta_s}{1 + \alpha_s} = 1 - \frac{\beta_q}{1 + \alpha_q} \quad (9)$$

매개변수  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 직접유출과 기저유출의 상대체적을 구할 수 있다(식 (9)). 결과적으로 비선형

손실모듈은 매개변수  $c, \tau_w^0, f$ 로 정량화될 수 있고, 선형모듈은 매개변수  $t_q, t_s, v_s$ 로 정량화 될 수 있다.

### 3. 적용지역

충주댐 유역의 남한강상류유역과 평창강유역, 충주댐유역으로 구분하여 관측자료의 신뢰성이 높으며 인위적인 영향을 받지 않는 정선2, 거운, 영월2, 영월, 이목정, 장평교, 백옥포, 상안미, 하반정, 방립, 판운, 주천, 영월1 수위관측소를 기본단위로 하여 IHACRES 모형을 적용하였다. 각 수위관측소의 수위-유량관계곡선식은 수자원종합정보 홈페이지를 참조 하였으며, 국립지리원의 수치지형도(1:25000)를 사용하여 해상도 30m×30m DEM를 만들고, 이를 이용하여 유역의 지형특성인 유역면적, 유역경사, 하천연장, 하천경사 등을 추정하였다.

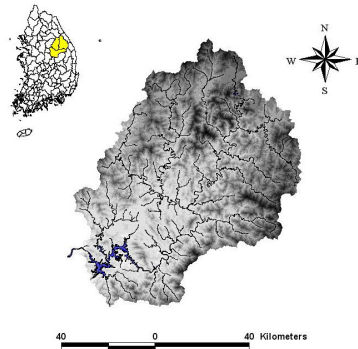


그림 1. 충주댐 DEM

### 4. 매개변수 지역화

IHACRES 모형의 6개 매개변수는 유역의 기후특성 및 지형특성을 반영하는 매개변수 군으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 특히 유역의 지형특성과 관련된 매개변수를 유역의 지형인자인 유로연장, 유역면적, 유역경사, 하천경사 등과 회기분석하여 특성화 하고, 이를 대상유역 내 13개 수위관측소에 적용하여 그 유출이 평가되도록 하였다. 추정된 지형특성관련 매개변수의 회귀식은 다음과 같다.

$$t_s = -23.51634 + 0.01635L + 3653.49395S_s \quad (10)$$

$$t_s' = 41701.3L^{0.09133}S_s^{1.84798} \quad (11)$$

$$t_q = 0.96812 - 9.36029S_b + 56.83815S_s \quad (12)$$

$$t_q' = 3.4823S_s^{-0.32006}S_b^{0.50111} \quad (13)$$

$$v_s = 0.45282 + 0.00006456L \quad (14)$$

$$v_s' = 0.29323A^{-0.0721}S_s^{0.12254} \quad (15)$$

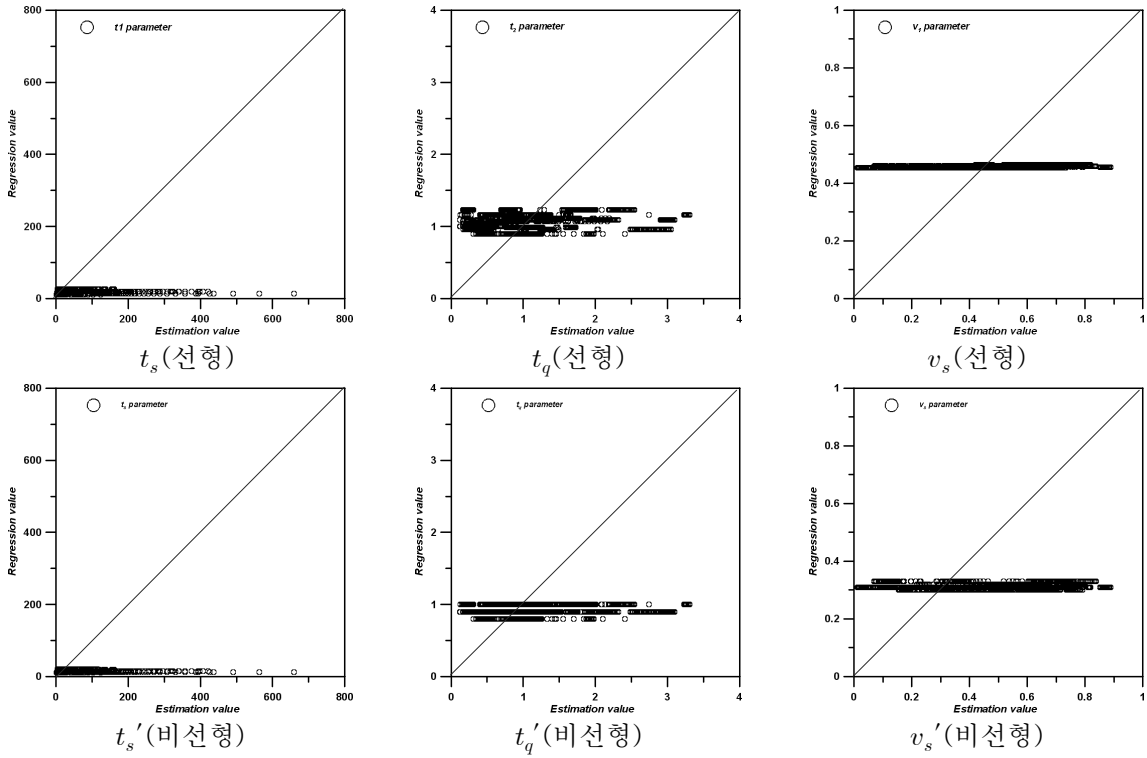


그림 1. 측정된  $t_q$ 와  $t_s$ ,  $v_s$ 의 선형·비선형 회귀식으로 추정된 값들의 산포도

그림 1은 선형 및 비선형으로 산정된 회귀식을 이용하여 추정된 값을 관측치와 비교한 그림이다.

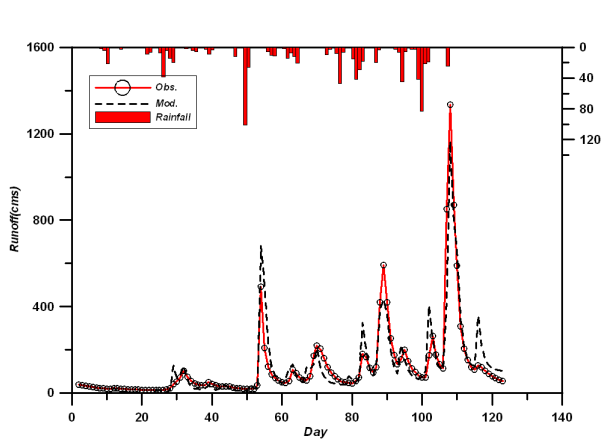


그림 2. 영월2 관측소( $R^2 = 0.84$ )

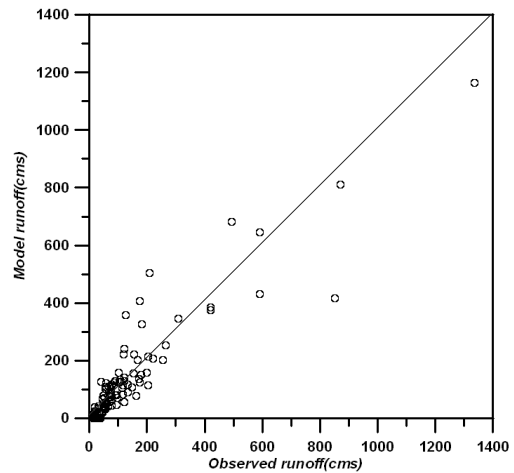


그림 3. 관측치와 모의치 비교

위 그림 2와 3은 선형회기식을 영월2관측소에 적용하여 평가한 것이다. 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 회귀식에 의해 추정된 매개변수를 이용하여도 적절한 수준의 유출결과가 모의됨을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 IHACRES 모형을 남한강상류 유역과 평창강 유역의 13개 수위관측소를 대상으로 적용하여 그 매개변수를 평가해 보았다. 이들 매개변수는 유역면적, 유로연장, 하천경사, 유역경사 등 유역특성인자들을 이용하여 적절히 추정될 수 있는 것으로 파악되었으며, 추가로 타 지점에서의 적용을 확대한다면 기존 수위-유량관계곡선식의 평가 및 미세측유역의 유출량을 산정에 효과적으로 적용될 수 있을 것이라 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. 수자원종합정보, <http://www.wamis.go.kr>
2. Croke, B.F.W., Jakeman, A.J. and Merritt, W.S. (2004) A dynamic model for predicting hydrologic response to land cover changes in gauged and ungauged catchments, *Journal of Hydrology*, Vol. 291, pp. 115-131.
3. Croke, B.F.W., Andrews, F., Cuddy, S., Luddy, a. and Jakeman, A.J. (2005) Redesign of the IHACRES rainfall-runoff model, *29th Hydrology and Water Resources Symposium, 21-23 February*, Canberra, Engineers Australia.
4. Jakeman, A.J. (1990) Computation of the instantaneous unit hydrograph and identifiable component flows with application to two small upland catchments, *Journal of Hydrology*, Vol. 117, pp. 275-300.
5. Jakeman, A.J. and Hornberger, G.M. (1993) How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model?, *Water Resources Research*, Vol. 29, pp. 2637-2649.