

미계측 유역 유출 모의를 위한 Tank 모형의 매개변수 지역화 Parameter Regionalization of a Tank Model for Simulating Runoffs from Ungauged Watersheds

강 민 구* / 이 주 현** / 박 기 욱***

Kang, Min Goo / Lee, Joo Heon / Park, Ki Wook

Abstract

To provide a reliable tool for runoff simulations of ungauged watersheds upstream of reservoirs, a daily runoff simulation model, Tank model, is restructured, the parameter regionalization of the model is conducted, and the model's applicability is evaluated. Taking into account the characteristics of runoffs from the watersheds, a three-tank model is employed. The percolation process of the model's third tank is eliminated, considering the water budgets of the watersheds, and its evapotranspiration component is improved, reflecting the conditions of meteorological observation in South Korea. The sensitivity analysis of the model shows that the model's behaviors, varying with a sensitive parameter, α , are reasonable. The regional parameter estimation equations are determined, using the characteristics and land uses of the watersheds as variables. The model is applied for the runoff simulations of three watersheds and the water stage simulation of one reservoir, and the simulation results are then compared with the observed values, which prove to be in close agreement with the observations. In addition, the results from simulating inflows of twenty-four reservoirs using the model show that the averages of evapotranspiration rate and runoff rate are 42.8% and 56.6%, respectively, which are reasonable. Consequently, it is concluded that the model is practically applicable to simulating runoffs from watersheds upstream of reservoirs, and simulated inflow data are useful for watershed management and reservoir planning, design, and operation.

Keywords : tank model, parameter regionalization, ungauged watershed, inflows of reservoirs

요 지

본 연구에서는 미계측 유역인 저수지 상류 유역의 유출을 모의하기 위하여 Tank 모형의 구성성분을 개선하고 매개변수를 지역화하였으며, 모형의 적용성을 평가하였다. 저수지 상류 유역의 유출특성을 고려하여 3단 Tank 모형을 선정하였다. 유역 물수지를 고려하여 세 번째 Tank의 지하배수과정을 제외하였으며, 증발산성분은 국내의 기상관측 상황을 반영하여 개선하였다. 모형의 민감도 분석결과는 매개변수 α 의 변화에 따라 모형이 합리적으로 반응한다는 것을 제시하였다. 유역의 유역특성인자와 토지이용상태를 변수로 사용하여 모형의 매개변수 지역화식을 결정하였다. 3개 유역의 유출 모의와 1개 저수지의 저수위 모의에 대하여 모형 성능을 검증하였으며, 실측치와 모의치가 유사한 경향을 나타냈다. 24개 저수지 유입량 모의에 모형을 적용한 결과, 대상 저수지 상류 유역의 평균 증발산율은 42.8%, 평균 유출률은 56.6%이었다. 결론적으로 매개변수가 지역화된 Tank 모형은 저수지 상류 유역의 유출 모의에 적용이 가능하며, 모의된 유입량 자료는 저수지

* 미래자원연구원, 연구위원 (e-mail: kmg1218@gmail.com)

Research Fellow, Future Resources Institute, Woolim Lions Valley C-405, 371-28 Gasan-dong, Keumcheon-gu, Seoul 153-786, Korea

** 교신저자, 중부대학교 토목공학과 교수(e-mail: leejh@joongbu.ac.kr, Tel: 041-750-6744)

Corresponding Author, Professor, Department of Civil Engineering, Joongbu University, Kumsan 312-702, Korea

*** 한국농어촌공사 새만금본부 과장 (e-mail: pku@me.com)

Manager, Saemangeum Project Division, Korea Rural Community Corporation, Uiwang 437-703, Korea

계획, 설계, 운영에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : Tank 모형, 매개변수 지역화, 미계측 유역, 저수지 유입량

1. 서론

국내에 산재한 저수지는 2010년 현재 총 17,531개이며, 이 중에서 한국농어촌공사가 3,356개를 관리하고 있으며, 14,175개 저수지는 시·군이 관리하고 있다. 관리자들은 시설물 안전에 저수지 관리의 가장 높은 우선순위를 주기 때문에 효율적인 물관리를 위한 저수지 상·하류의 수문 순환 성분에 대한 계측이 현재까지 미흡하다. 특히 시험 유역을 제외한 대부분의 저수지 상류 유역은 미계측 유역이며, 강우량, 유출량, 증발량 등의 자료가 부족하다. 또한 저수지의 관개용수공급량, 관개지구 용수로의 유형에 대한 계측 자료가 부족하여 수혜지구의 물관리 상황에 대한 분석이 쉽지 않으며, 저수지 계획, 설계, 운영을 위한 정확한 유입량 예측이 어려운 실정이다. 따라서 제반 여건들을 고려하면서 저수지 유입량 예측의 정확성을 향상시키기 위해서는 상류 유역 특성을 고려할 수 있는 모형을 선정하고 합리적인 모형 적용방법을 개발해야 한다.

최근 강우-유출 모형은 수문사상을 보다 사실에 가깝게 모의하기 위하여 비선형성이 강한 식을 사용하고 있기 때문에 더욱 복잡해지고 있으며, 과거 모형들 보다 더욱 세련되어 가고 있다. 또한 유출량뿐만 아니라 유사량, 영양물질, 토양수분 등과 같은 항목을 모의할 수 있는 물리적 기반 모형들이 개발되고 있다. 그러나 이러한 모형들도 직접 측정이 가능한 매개변수와 보정을 통해서 추정되는 매개변수들을 포함하고 있기 때문에 적절한 방법으로 모형의 매개변수를 추정해야하는 구조적인 문제를 가지고 있다. 따라서 개념적 강우-유출모형이 미계측 유역의 유출 모의에 선호되고 있으며, 최근에는 모형의 매개변수 수를 획기적으로 줄인 개념적 모형이 개발되고 있다(Kim, 2001; Lim et al., 2001; Noh, 2003; Copper et al., 2006). 또한 개념적 모형을 이용하여 미계측 유역의 유출을 모의하기 위해서 유역특성인자를 이용하여 모형의 매개변수를 지역화하는 연구들이 진행되어 왔다(Kim and Park, 1988; Huh et al., 1993a; Yokoo et al., 2001; Mwakalila, 2003; Cho et al., 2004; Yoo and Park, 2006; Lee and Kang, 2007; Kim and Kaluarachchi, 2008; Lee et al., 2009).

국내에서 미계측 유역의 유출이나 저수지 및 댐의 유입량은 가지야마 공식, 다중회귀모형, Tank 모형, SWAT

모형 등을 이용하여 추정되어 왔다(Yoon and Wone, 1991; Noh, 1999; Kang et al., 2002; Noh, 2003; Kim et al., 2008; Kim and Kim, 2012). 특히 가지야마 공식은 모형의 편리성으로 인하여 저수지의 월유입량 산정에 많이 이용되어 왔으며, 다른 모형들의 정확성 평가에 비교대상으로 이용되기도 했다. 국내에서 개념적 강우-유출모형을 이용하여 저수지 유입량을 예측한 연구들 중에는 Tank 모형을 이용하여 저수지 유입량을 모의하고 저수지 거동을 분석한 연구들이 대부분이다(Kim and Park, 1988; Huh et al., 1993a and 1993b; Kim and Park, 1994). 또한 모형의 매개변수를 저수지 실측 저수량과 모의치의 오차를 최소화하는 방향으로 최적화하여 저수지 유입량을 추정한 연구들도 수행된 바가 있다(Noh, 2000; Kang, 2004). 그러나 기존 모형들과 이들의 적용방법은 개발 당시의 여건들을 반영했기 때문에 보다 정확한 결과를 얻기 위해서는 현재 상황에 맞게 구성성분들을 재구성하고 적용방법을 개선할 필요가 있다.

본 연구에서는 저수지 상류 유역의 유출을 모의하기 위해 Huh et al. (1993a)에 의해 개발되었던 수정 Tank 모형을 관련 여건들의 변화를 반영하여 재구성하였으며, 미계측 유역에 모형을 적용하기 위하여 모형의 매개변수를 유역특성인자와 토지이용상태를 사용하여 지역화하였다. 또한 유출량 실측 자료가 있는 유역의 유출 모의에 지역화된 모형을 적용하여 모형 성능을 평가하였으며, 24개 저수지 유입량 모의에 적용하고 결과를 분석하였다.

2. 미계측 유역 유출 모의 모형 재구성

2.1 모의 모형 선정

유역 유출을 정확하고 합리적으로 모의하기 위해서는 실측 자료, 입력 자료, 매개변수 등을 고려하여 적절한 모형을 선정해야 한다. 중·소하천 유역의 일별 유출량 모의를 위한 모형들 중에서 Tank 모형은 구조가 단순하며, 입력자료 수가 적으며(Sugawara, 1972), 국내 중·소유역 유출해석에 적용되어 비교적 양호한 결과를 제시한 바가 있다(Lee et al., 2003). 특히 Kim and Park (1988)과 Huh et al. (1993a)은 지표유출을 모의하는 첫 번째 Tank의 유출공수를 2개로 하고, 국내 중·소유역 유출지체 시간이 짧고

기저유출부분의 기율기가 급하다는 점을 고려하여 네 번째 Tank를 생략한 바가 있다. 또한 이들은 모형의 매개변수를 보정하고 유역특성인자와 토지이용상태를 사용하여 지역화하여 모형을 미계측 유역의 유출해석에 적용이 가능하도록 하였다. 이와 같은 점을 고려하여 본 연구에서는 미계측 유역인 저수지 상류 유역의 유출을 모의하기 위하여 Huh et al. (1993a)이 개발한 수정 Tank 모형을 선정하였다.

2.2 유출성분 개선

본 연구에서 선정한 Tank 모형은 Fig. 1과 같은 3단 Tank 모형이다. 이 모형에서 지표유출은 첫 번째 Tank, 중간유출은 두 번째 Tank, 기저유출은 세 번째 Tank에서 모의한다. 유역의 총유출량(Q_t)은 Fig. 1에 제시된 각 Tank의 유출량을 합한 값이며, Eq. (1)과 같다.

$$Q_t = q_{11} + q_{12} + q_2 + q_3 \quad (1)$$

여기서, q_{11} =첫 번째 Tank의 하단 유출공으로부터 유출량, q_{12} =첫 번째 Tank의 상단 유출공으로부터 유출량, q_2 =두 번째 Tank의 유출공으로부터 유출량, q_3 =세 번째 Tank의 유출공으로부터 유출량이다.

장기유출모의를 위해서는 t 일의 i Tank 저류량(ST_{it})은 Eq. (2)와 같이 일별로 추적한다.

$$ST_{it} = ST_{it-1} + UI_{it} - q_{it} - ET_{it} - DO_{it} \quad (2)$$

여기서, ST_{it-1} = $t-1$ 일 i Tank 저류량, UI_{it} = t 일 강우량 또는 상부 Tank 지하배수량, q_{it} = t 일 유출량, ET_{it} = t 일 i Tank

증발산량, DO_{it} = t 일 i Tank 지하배수량이다. i Tank에서 t 일에 발생하는 지하배수량(DO_{it})은 Eq. (3)과 같이 산정한다.

$$DO_{it} = b_i \times ST_{it} \quad (3)$$

여기서, b_i = i Tank 지하배수계수이다. i Tank에서 t 일 발생하는 증발산량(ET_{it})은 Eq. (4)와 같이 t 일 유역실제증발산량 중 상부 탱크의 증발산량을 제외한 값이다.

$$ET_{it} = ET_{at} - \sum_{j=1}^n ET_{jt} \quad (4)$$

여기서, ET_{at} = t 일 유역실제증발산량, $\sum_{j=1}^n ET_{jt}$ 항은 i Tank의 상부 j Tank에서 발생한 증발산량의 합, n 은 i Tank의 상부 Tank 수이다.

Huh et al. (1993a)이 제안한 모형에서는 Eq. (3)을 사용하여 각 Tank의 지하배수를 고려하였으며, 세 번째 Tank의 지하배수량도 산정하였다. 그러나 최근 연구에서는 유역 물수지를 고려하여 세 번째 Tank에서 지하배수과정을 제외하고 있다(Lee et al., 2003; Lee and Kang, 2007). 또한 Huh et al. (1993a)의 연구에서 제시한 매개변수 b_3 의 범위가 0.0010~0.0096으로 다른 매개변수들에 비하여 작은 값이며, 이로 인하여 세 번째 Tank의 지하배수량이 다른 유출성분에 비하여 미미하다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 세 번째 Tank에서 지하배수과정을 생략하였으며, 세 번째 Tank의 유출공 높이도 0으로 하였다.

2.3 증발산성분 개선

2.3.1 유역실제증발산량

증발산량은 유역증발산량 개념을 도입하여 Eq. (5)와 같이 t 일 유역실제증발산량(ET_{at})을 산정한다.

$$ET_{at} = K_{et} \times ET_{Pt}; K_{et} = K_{st} \times K_{ct} \quad (5)$$

여기서, ET_{Pt} = t 일 유역잠재증발산량, K_{et} = t 일 유역증발산계수, K_{st} = t 일 유역토양수분계수, K_{ct} = t 일 유역피복계수이다. K_{st} 는 유역의 토양수분이 감소함에 따라 증발산량이 감소되는 정도를 나타내며, K_{ct} 는 토지이용상태에 따른 시기별 증발산량의 변화를 나타낸다.

2.3.2 유역잠재증발산량

유역잠재증발산량은 Huh et al. (1993a)이 제안한 것과 같이 수정 Penman 식(Doorenbos and Pruitt, 1984)의 잠재증발산량을 사용하였다. 최근 연구에서는 Tank 모형의 유역

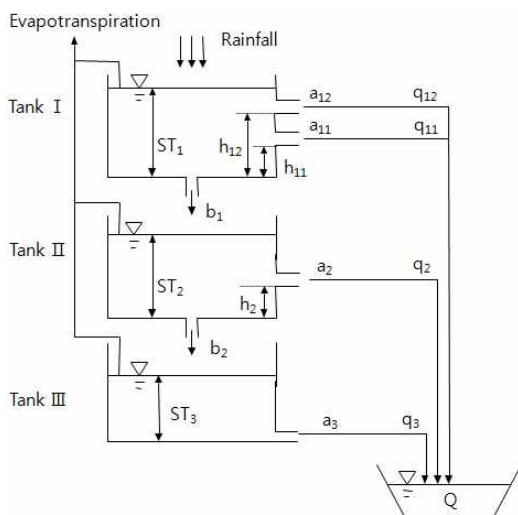


Fig. 1. Schematic Diagram of the Restructured Tank Model

잠재증발산량을 효과적으로 추정하기 위하여 잠재증발량 추정식을 사용하고 있다(Jung et al., 2006; Lee and Kang, 2007; Rim et al., 2012). 특히 수정 Penman 식은 합리적인 산정결과를 제시하는 것으로 알려져 있으며(Nandagiri and Kovoov, 2006), 일조시간, 기온, 상대습도, 풍속과 같은 기상인자를 측정하는 국내 기상관측소에 적용이 가능하므로 다른 식들 보다 적용이 용이하다. 미계측 유역은 기상자료가 측정되지 않기 때문에 본 연구에서는 비교적 계측이 쉽고 자료 수집이 용이한 소형 증발접시 증발량 자료와 수정 Penman 식의 잠재증발산량 사이의 관계를 청명일과 우천일로 구분하여 수립한 후, 일별 잠재증발산량을 산정하였다. 본 연구에서는 Huh et al. (1993a)이 제시한 연구결과에서 2012년 현재 소형 증발접시 증발량을 측정하지 않고 있는 대구, 광주, 부여, 의성, 함천 관측소를 제외하였으며, Figs. 2(a) and 2(b)와 같은 관계를 나타내는 안동관측소를 추가하였다.

2.3.3 유역토양수분계수

유역의 토양수분상태는 Huh et al. (1993a)이 제안한 것

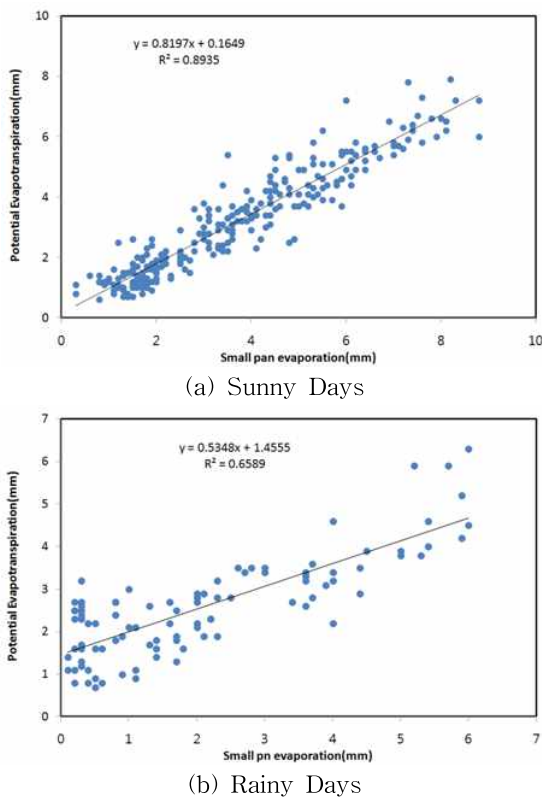


Fig. 2. Relationships Between Small Pan Evaporation and Potential Evapotranspiration Values at Andong Meteorological Observation Station

과 같이 유역총저류량에 따라 변한다고 가정하였으며, Eq. (6)과 같이 산정하였다.

$$K_{s_i} = 1 - \exp(-\alpha \times ST_{tot_i}); ST_{tot_i} = \sum ST_{t_i} \quad (6)$$

여기서, α =매개변수, ST_{tot_i} = t 일 유역총저류량, ST_{t_i} = i 번째 Tank의 t 일 저류량이다. Fig. 3은 α 와 유역총저류량에 따른 유역토양수분계수의 변화를 나타낸 것이며, 동일한 α 에 대하여 유역총저류량이 증가할수록 유역토양수분계수가 증가하며, 동일한 유역총저류량에 대하여 α 가 작을수록 유역토양수분계수가 작은 값을 나타낸다.

2.3.4 유역피복계수

유역피복계수는 토지이용별 작물의 종류 및 성장시기, 피복정도에 따라 다르며, 시기별로 변한다. 본 연구에서는 Huh et al. (1993a)이 제시한 것과 같이 유역의 토지이용을 산림, 논, 밭, 기타로 구분하고 각 토지이용상태에 월별로 피복계수를 적용하였으며, 토지이용상태별로 면적가중치를 적용하여 Eq. (7)과 같이 월별로 유역평균값을 산정하였다.

$$K_{c_{avg}} = \frac{\sum K_{c_i} \times A_i}{\sum A_i} \quad (7)$$

여기서, $K_{c_{avg}}$ =평균 유역피복계수, K_{c_i} =토지이용별 피복계수, A_i =토지이용별 면적, i =토지이용 구분을 나타낸다.

2.4 매개변수 α 에 따른 모형 민감도 분석

유역총저류량과 유역토양수분계수의 관계를 설정하는데 사용되는 α 는 유역특성을 고려하여 추정된다. 따라서

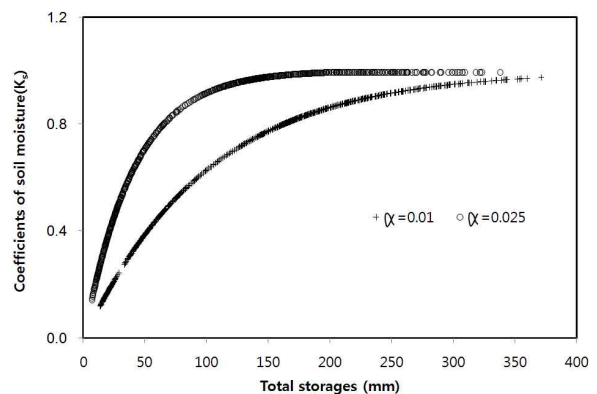


Fig. 3. Variation of Coefficients of Soil Moisture according to α and Total Water Storages of a Watershed

α 의 변화가 모의결과에 미치는 영향을 분석할 필요가 있으며, 이를 고려하여 적절한 값을 사용한다. Table 1은 α 의 변화에 따른 증발산량과 유출량의 변화를 총량과 변화율로 구분하여 정리한 것이다. α 값이 증가함에 따라 증발산량은 로그 함수 형태로 증가하며, 유출량은 로그 함수 형태로 감소하는 경향을 나타냈다. Fig. 4는 α 의 변화에 따른 유역총저류량과 증발산량의 변화를 도식적으로 나타낸 것이며, α 값의 변화에 따른 일증발산량의 변화를 $\alpha=0.015$ 인 경우의 일증발산량으로 부터의 차를 계산하여 비교하였다. 세 가지 경우를 비교해보면, Table 1의 민감도 분석결과와 같이 α 값이 증가함에 따라 전체적으로 증발산량이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 $\alpha=0.050$ 인 경우에 유역총저류량 변화 그래프에 점선 원형으로 나타낸 부분들과 같이 유역총저류량이 0에 가까운 경우에 국부적으로 유역증발산량이 $\alpha=0.015$ 인 경우 보다 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 유역총저류량이 증발산량에 미치는 영향이 크기 때문이며, 모형이 합리적으로 반응하고 있다는 것을 나타낸다. Fig. 5는 α 값 변화에 따른 일유출량 변화를 도식적으로 나타낸 것이다. Table 1의 민감도 분석결과와 같이 α

값이 증가함에 따라 유출량은 감소하는 경향을 나타냈다. 특히 저수유출 부분에서 α 값이 증가함에 따라 상대적으로 적은 유출량을 나타냈으며, 이는 α 값이 증가함에 따라 증발산량이 증가하고 유역총저류량이 감소하기 하기 때문이다. 이와 같은 민감도 분석결과는 α 값이 모형 반응과 모의결과에 미치는 영향이 크다는 것을 의미하며, 유역 특성을 고려하여 적절한 값을 선정할 필요가 있음을 의미한다.

3. 매개변수 지역화

3.1 매개변수 지역화식 개선

개선된 모형을 미계측 유역에 적용하기 위하여 유역특성 인자와 토지이용상태를 이용하여 매개변수를 지역화하였다. 본 연구에서 선정한 유역은 반월#1, 반월#3, 보성, 용담, 기대, 나주, 괴산, 평창#1, 보창#2, 위천#4이며, Table 2와 같은 통계적 특성을 나타낸다. 유역면적은 2.75~2,060.30 km², 주하천 유로장은 3.83~79.20 km, 산림면적 비율은 40.0~90.8%, 형상계수는 0.11~0.38이다. Huh et al. (1993a)은 이들 유역의 유역면적, 주하천 유로장, 형상계수, 산림, 논, 밭 면적 비율 등과 같은 6개 변수와 Rosenbrock 알고리즘을 이용하여 최적화한 모형 매개변수의 관계를 다중회귀

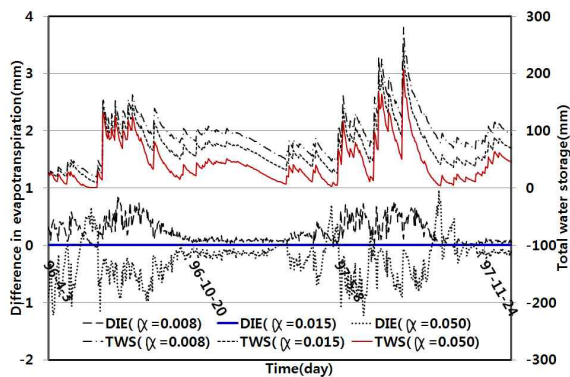


Fig. 4. Comparisons of Total Water Storages and Differences in Evapotranspiration, Varying with α . TWS stands for total water storage of a watershed, and DIE means the differences in evapotranspiration between the case of $\alpha=0.015$ and other cases ($\alpha=0.008$ and $\alpha=0.050$)

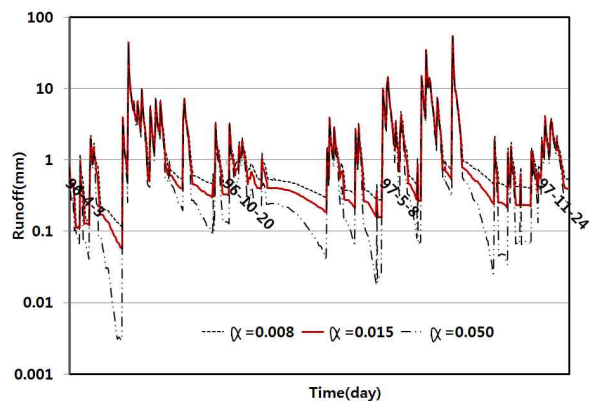


Fig. 5. Comparison of Runoffs, Varying with α (Apr. 3, 1996 to Dec. 31, 1997)

Table 1. Results from Analyzing Sensitivities of the Amounts of Evapotranspiration and Runoff, Varying with α Values

α		Evapotranspiration		Runoff	
Values	Rates of change (%)	Amounts (mm)	Rates of change (%)	Amounts (mm)	Rates of change (%)
0.008	-46.7	724.3	-16.6	1,175.5	11.4
0.015	0.0	868.9	0.0	1,055.1	0.0
0.030	100.0	979.7	12.8	961.0	-8.9
0.050	233.3	1,029.3	18.5	918.5	-12.9

분석하였으며, 각 매개변수의 지역화식을 개발하였다.

본 연구에서는 Huh et al. (1993a)가 제안한 매개변수 지역화식을 고찰하고 문제점을 파악하였다. Huh et al. (1993a)이 제안한 지역화식에서 사용된 변수 중의 하나인 형상계수의 범위가 너무 좁았기 때문에 일반적인 미계측 유역에 적용하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 Huh et al. (1993a)의 연구에서 형상계수를 지역화식의 변수로 사용했던 첫 번째 Tank의 상부 유출공 높이(h_{12})의 지역화를 제시하였다. 본 연구에서 h_{12} 지역화식 개발에 사용한 변수는 산림면적 비율, 유역면적, 주하천 유로장이었으며, 다중회귀 분석을 통하여 선정하였다. 또한 a_{11} 의 지역화식을 유역면적과 주하천 유로장을 사용하여 재구성하였으며, 세 번째 Tank의 지하배수계수(b_3)는 0.0으로 수정하였다.

Table 3은 본 연구에서 최종적으로 개선된 매개변수 지역화식을 정리한 것이며, 각 매개변수의 지역화식은 유역면적, 주하천 유로장, 산림, 논, 밭 면적 비율 등과 같은 5개 변수들 중에서 1~2개를 설명변수로 사용하는 다중회귀식이다. 매개변수 지역화식의 결정계수는 0.52~0.95이었으

며, 유의확률(p -value)은 0.00002~0.045이며, $p < 0.05$ 이므로 각 지역화식에 사용된 변수들이 해당 매개변수 값의 변화에 영향을 미치는 것으로 나타났다. Figs. 6(a) and 6(b)는 h_{11} 과 h_{12} 의 최적 추정값과 지역화식을 이용하여 추정된 값을 도식적으로 나타낸 것이다. h_{11} 매개변수 지역화식의 결정계수는 0.52로 낮으나 Fig. 6(a)에 나타난 것과 같이 1:1 선상에서 멀리 벗어나 있지 않으며, h_{12} 매개변수 지역화식의 결정계수는 0.93이며 Fig. 6(b)에 나타난 것과 같이 1:1 선상에 밀집하는 결과를 나타냈다.

3.2 매개변수 α 의 지역화식 개발

Huh et al. (1993a)은 α 의 지역화식을 제시하지 않았다. 그러나 α 가 유역유출에 미치는 영향이 크기 때문에 유역 특성을 고려하지 않고 획일적인 값을 사용하면 합리적인 유출모의를 기대하기 어렵다. 매개변수 α 의 지역화에 사용된 유역은 Huh et al. (1993a)의 연구에서 적용한 용담유역 및 기대유역과 본 연구에서 4개 유역을 추가로 선정하였다. Table 4는 선정된 유역들의 유역특성을 나타낸 것

Table 2. Statistical Results from Analyzing Characteristics of Watersheds Selected for Determining Regional Parameter Estimation Equations of the Tank Model

Statistical values	Watershed areas (km ²)	Stream lengths (km)	Percentages of land use				Shape factors
			Paddy (%)	Dry cropland (%)	Forest (%)	Etc. (%)	
Max.	2,060.30	79.20	31.00	14.00	90.80	29.00	0.38
Min.	2.75	3.83	3.20	4.80	40.00	1.00	0.11
Mean	527.28	39.91	12.22	8.07	70.12	8.64	0.26
St. dev.	613.77	27.39	8.52	2.89	14.37	8.49	0.10

Table 3. The Regional Parameter Estimation Equations of the Tank Model. The Results of Huh et al. (1993a) are Partially Employed

Parameters	Regional parameter estimation equations	R ²	p-value
a_{11}	$0.080 + 0.031 \times \log(\text{Area}) - 0.002 \times (\text{Length})$	0.59	0.045*
a_{12}	$-0.192 + 0.007 \times (\text{Forest}) - 0.001 \times (\text{Length})$	0.76	0.007**
a_2	$0.089 + 0.004 \times \log(\text{Area}) - 0.002 \times (\text{Cropland})$	0.86	0.001**
a_3	$0.005 + 0.00026 \times (\text{Length})$	0.74	0.001**
b_1	$0.616 - 0.042 \times \log(\text{Area}) - 0.002 \times (\text{Forest})$	0.95	0.000***
b_2	0.067		
b_3	0.000		
h_{11}	$5.495 + 0.564 \times \log(\text{Area})$	0.52	0.019**
h_{12}	$40.38 + 1.177 \times (\text{Forest}) + 43.933 \times \log(\text{Area}) - 85.219 \times \log(\text{Length})$	0.93	0.001**
h_2	$-2.060 + 5.882 \times \log(\text{Area}) - 0.369 \times (\text{Length})$	0.73	0.010**
h_3	0.000		

Area, Watershed area (km²); Length, Length of main stream(km); Paddy, Percentage of paddy field(%); Cropland, Percentage of dry cropland field(%); and Forest, Percentage of forest(%).

*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$.

이다. HS#3 유역과 HS#5 유역은 경기도 화성군의 발안천 상류에 위치한 유역이다. HS#3 유역의 말단에는 수위 및 유량 측정 시설이 설치되어 있으며, HS#5 유역은 기천저수지의 상류유역이며, 한국농어촌공사에서 저수지 수위를 일별 측정하고 있다. 인동관측소는 대전시 동구에 위치한 대전천 상류에 위치하고 있으며, 금산관측소는 충남 금산군에 위치한 봉황천 상류에 위치하고 있다. 두 관측소는 국토해양부에서 관리하고 있으며, 강우 및 수위 관측소이다. 유역들의 토지이용상태를 살펴보면, HS#3 유역과 인동관측소 유역의 기타 면적 비율이 각각 20.7%와 22.5%로 도시화가 다른 유역들 보다 더욱 진행되었음을

알 수 있다. Table 5는 대상 유역의 월별 유역피복계수를 나타낸 것이다. 대상 유역의 토지이용별로 월별 계수를 추정하고, 토지이용비율을 가중치로 적용하여 전체 유역의 월별 평균 유역피복계수를 추정하였다. 유역별 유역피복계수는 8월에 가장 큰 값을 나타냈으며, 12월에 가장 작은 값을 나타냈다. Table 6은 모형에 적용된 유역별 매개변수 값을 나타낸 것이며, 유역특성인자와 토지이용비율을 매개변수 지역화식에 대입하여 각 매개변수 값을 추정하였다. 각 유역의 α 값은 모의결과를 실측자료와 비교하면서 결정하였으며, 각 유역의 최종 α 값은 지역화식을 개발하기 위한 자료로 활용하였다.

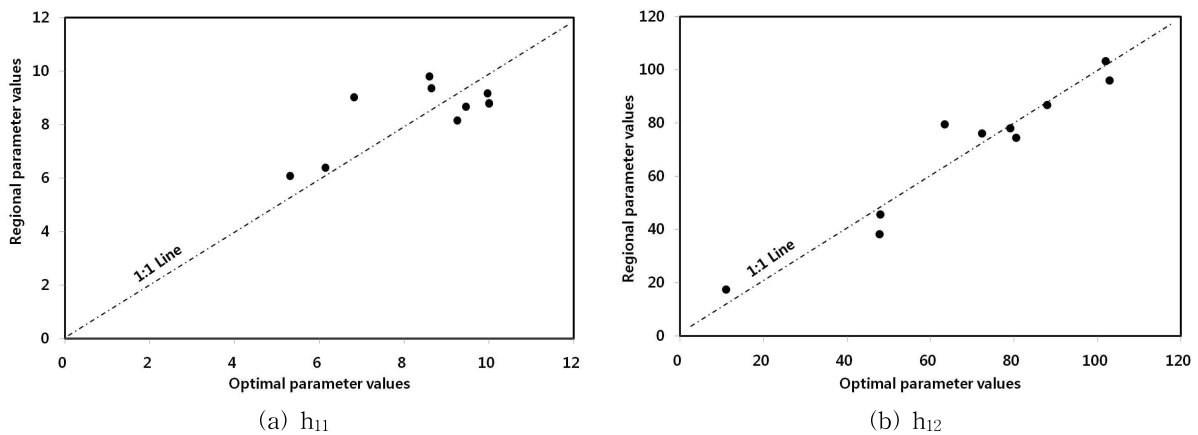


Fig. 6. Comparison of Optimally Estimated Parameter Values and Regional Parameter Values

Table 4. Characteristics of Watersheds Selected for Evaluating the Applicability of the Regional Parameter Estimation Equations

Watersheds	Stream names	Watershed areas (km ²)	Percentages of land use				Shape factors	Stream lengths (km)
			Paddy (%)	Dry cropland (%)	Forest (%)	Etc. (%)		
HS#3	Balan	4.13	18.8	9.5	51.0	20.7	2.29	3.09
HS#5	Balan	5.06	16.2	1.2	78.7	3.9	0.52	3.13
Indong	Daejeon	59.92	2.5	7.6	67.4	22.5	0.15	20.22
Keumsan	Bonghwang	212.20	7.1	11.7	73.8	7.5	0.56	29.58

Table 5. Monthly Coefficients of Land Cover for Selected Watersheds

Months	Watersheds				Months	Watersheds			
	HS#3	HS#5	Indong	Keum-san		HS#3	HS#5	Indong	Keum-san
Jan.	0.50	0.56	0.53	0.55	Jul.	0.87	0.85	0.82	0.83
Feb.	0.55	0.58	0.57	0.57	Aug.	0.93	0.89	0.84	0.88
Mar.	0.65	0.68	0.67	0.67	Sep.	0.79	0.75	0.74	0.74
Apr.	0.68	0.70	0.68	0.69	Oct.	0.67	0.61	0.65	0.68
May	0.80	0.80	0.80	0.80	Nov.	0.53	0.50	0.52	0.54
Jun.	0.82	0.82	0.80	0.81	Dec.	0.40	0.40	0.40	0.40

HS#3 유역 유출 모의를 위한 지배관측소는 Thiessen 법에 의해 선정했으며, 강우 및 증발량 자료는 수원관측소의 측정자료를 사용하였다. 모형의 적용기간은 1996~1997년이었으며, Table 7에 나타난 것과 같이 총유출량의 상대오차는 -3.4%, RMSE는 5.6 mm, 상관계수는 0.88을 나타냈다. HS#5 유역은 HS#3 유역과 인접해 있기 때문에 유출 모의를 위한 강우 및 증발량 자료는 HS#3 유역과 동일하게 수원기상관측소의 측정자료를 사용하였다. HS#5 유역의 모의결과를 평가하기 위하여 기천저수지의 모의 유입량을 저수지 물수지분석의 입력자료로 사용하여 일별 저수지 수위를 모의하였으며, 모의결과를 기천저수지 일별 저수위 측정자료와 비교하였다. 적용기간은 1996년이었으며, Table 7에 나타난 것과 같이 기천저수지 저수위 실측치와 모의치의 RMSE는 0.19 m, 상관계수는 0.99를 나타냈다. 인동관측소 유역 유출 모의를 위한 강우 및 증발량 자료는 인동우량관측소와 대전기상관측소의 자료를 각각 사용하였다. 모형의 적용기간은 2007년이었으며, Table 7에 나타난 것과 같이 총유출량의 상대오차는 -3.5%, RMSE는 5.6 mm, 상관계수는 0.90을 나타냈다. 금산관측소 유역 유출 모의를 위한 강우 및 증발량 자료는 금산기상관측소와 대전기상관측소의 자료를 각각 사용하였다. 금산관측소의 모의기간은 2008년이었으며, Table 7에 나타난 것과 같이 총유출량의 상대오차는 8.8%, RMSE는 1.0 mm, 상관계수는 0.93을 나타냈다.

본 연구에서는 증발산성분의 매개변수 α 를 주하천 유로장과 면적 비율을 변수로 사용하여 Eq. (8)과 같은 지역화식을 개발하였다.

$$\alpha = 0.00758 + 0.00294(\text{Length}) - 0.00041(\text{Paddy}) \quad (8)$$

여기서, Length =주하천 유로장(km), Paddy =해당 유역의 면적 비율(%)이다. Fig. 7은 선정된 6개 유역의 유출모의에 실제로 적용되었던 α 값과 지역화식을 이용하여 추정된 값을 도식적으로 나타낸 것이다. 지역화식의 결정계수는 0.95로 높은 정확도를 나타냈으며, Fig. 7과 같이 실제 적용된 매개변수 값과 지역화식으로 추정된 매개변수 값이 1:1 선상에 밀집하는 결과를 나타냈다.

4. 모형 검증 및 적용

4.1 모형 성능 검증

모형 성능 평가를 위하여 매개변수 지역화식 개발에 사용되었던 HS#3 유역, HS#5 유역, 인동관측소 유역, 금산

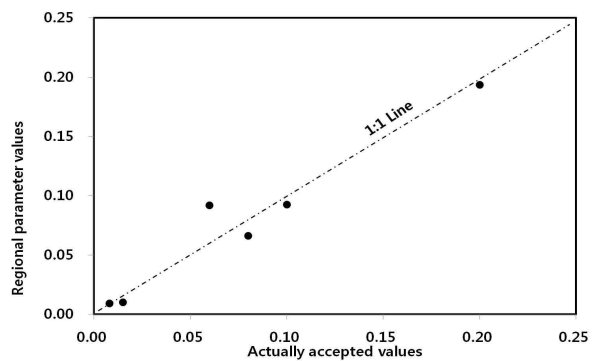


Fig. 7. Comparison of Actually Accepted Values and Regional Values of Parameter α

Table 6. Results from Estimating Parameters Using the Regionalized Equations

Watersheds	a_{11}	a_{12}	a_2	a_3	b_1	b_2	b_3	h_{11}	h_{12}	h_2	h_3
HS#3	0.118	0.162	0.076	0.006	0.454	0.067	0.00	6.29	66.59	5.14	0.00
HS#5	0.124	0.356	0.093	0.006	0.390	0.067	0.00	6.41	107.03	6.33	0.00
Indong	0.166	0.260	0.090	0.010	0.309	0.067	0.00	7.80	43.34	14.55	0.00
Keumsan	0.187	0.295	0.087	0.013	0.243	0.067	0.00	8.52	74.01	18.54	0.00

Table 7. Statistical Results from Comparing Observed and Simulated Values of Selected Watersheds During the Model Calibration

Watersheds	Periods	Relative errors (%)	RMSEs (mm)	Coefficients of correlation
HS#3	1996~1997	-3.4	5.6	0.88
HS#5	1996	-	187.0	0.99
Indong	2007	-3.5	5.6	0.90
Keumsan	2008	8.8	1.0	0.93

관측소 유역을 선정하였다. 모형 성능 평가에 사용된 자료는 매개변수 지역화식 개발에 사용된 자료와 상이한 것이며, 최종적으로 개발된 매개변수 지역화식과 개선된 모형의 성능을 검증하였다.

HS#3 유역 유출 모의는 1999~2000년에 대하여 실시하였으며, Fig. 8은 실측치와 모의치를 도식적으로 비교한 것이다. 전반적으로 모의치와 실측치가 유사한 경향을 나타내고 있으나, 고유량인 경우에 실측치가 모의치보다 다소 큰 값을 나타냈다. Table 8에 나타낸 것과 같이 총유출량의 상대오차는 -4.0%, RMSE는 10.2 mm, 상관계수는 0.91을 나타냈다.

HS#5 유역의 유출모의는 1997년에 대하여 실시하였으며, Fig. 9는 1997년의 기천저수지 수위 실측치와 모의치를 도식적으로 비교한 것이다. 저수위 모의결과는 실측치와 매우 유사한 경향을 나타냈으며, Table 8에 나타낸 것과 같이 RMSE는 0.17 m, 상관계수는 0.94를 나타냈다.

인동관측소 유역 유출 모의는 2008~2009년에 대하여 실시하였으며, Fig. 10은 실측치와 모의치를 도식적으로 비교한 것이다. 고수량 구간에서는 모의치와 실측치의 차이가 크지 않으나 저수량 구간에서는 모의치와 실측치의 차이가 다소 크게 나타났다. 특히 2009년 하반기에는 실측

치와 모의치의 차이가 크게 나타났으며, 이는 관측자료가 갖는 오차로 인한 것으로 판단된다. Table 8에 나타낸 것과 같이 총유출량의 상대오차는 17.0%, RMSE는 4.3 mm, 상관계수는 0.77을 나타냈다.

금산관측소 유역 유출 모의는 2009~2010년을 대상으로 실시하였으며, Fig. 11은 실측치와 모의치를 도식적으로 비교한 것이다. 전체 모의기간에 대하여 실측과 모의치가 유사한 경향을 나타내고 있다. Table 8에 나타낸 것

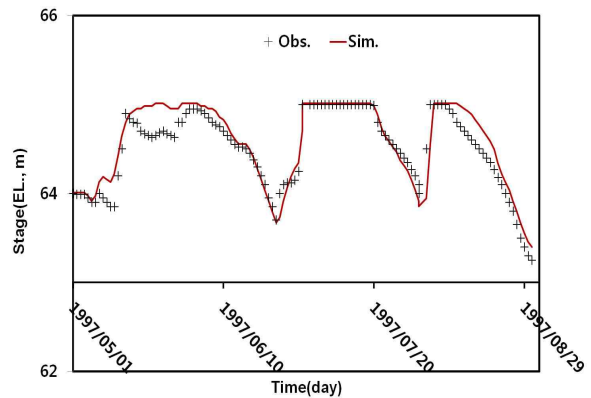


Fig. 9. Comparison of Observed and Simulated Water Stages of Gicheon Reservoir in 1997

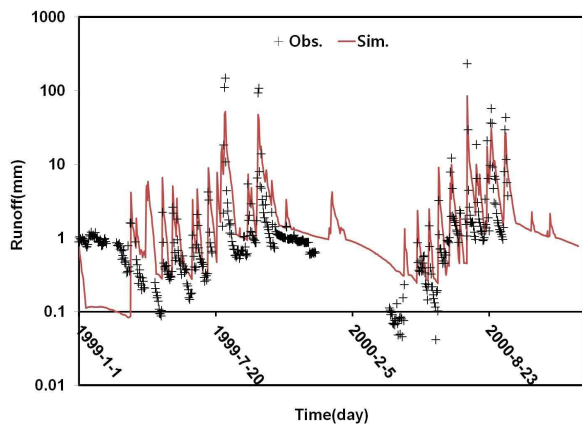


Fig. 8. Comparison of Observed and Simulated Values at HS#3 Gauging Station in 1999 and 2000

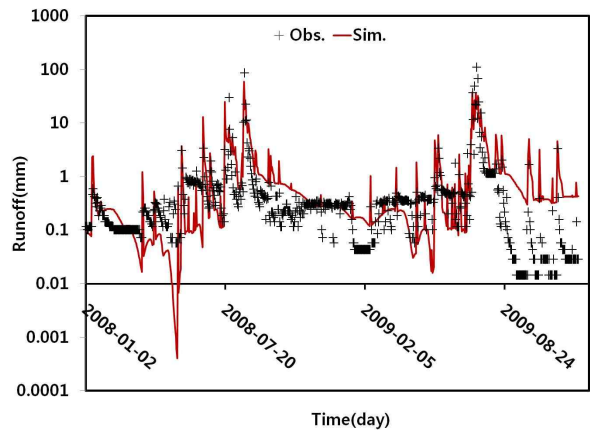


Fig. 10. Comparison of Observed and Simulated Values at Indong Gauging Station in 2008 and 2009

Table 8. Statistical Results from Comparing Observed and Simulated Values of Selected Watersheds During the Model Validation

Watersheds	Periods	Relative errors (%)	RMSEs (mm)	Coefficients of correlation
HS#3	1999~2000	-4.0	10.2	0.91
HS#5	1997	-	170.3	0.94
Indong	2008~2009	17.0	4.3	0.77
Keumsan	2009~2010	3.5	2.7	0.88

과 같이 총유출량의 상대오차는 3.5%, RMSE는 2.7 mm, 상관계수는 0.88을 나타냈다.

4.2 저수지 유입량 모의

저수지 상류 유역의 유출특성을 분석하기 위하여 본 연구에서 재구성한 Tank 모형을 금강 수계에 위치한 천천저수지, 계룡저수지, 광혜저수지, 도림저수지, 북심저수지, 용암저수지, 장찬저수지, 한계저수지, 낙동강 수계에 위치한 가북저수지, 고현저수지, 만운저수지, 웅양저수지, 창평저수지, 영산강 수계에 위치한 광주호, 나주호, 담양호, 백용

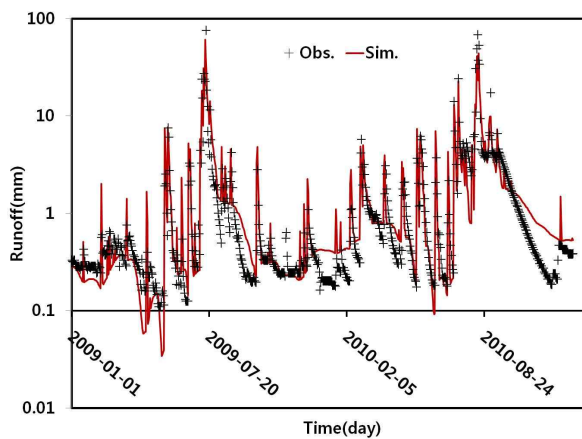


Fig. 11. Comparison of Observed and Simulated Values at Keumsan Gauging Station in 2009 and 2010

저수지, 유탕저수지, 장성호, 한강 수계에 위치한 공촌저수지, 반계저수지, 금사저수지, 대평저수지, 추평저수지 등 24개 저수지에 적용하였다. Table 9는 대상 저수지들의 상류 유역 특성을 통계처리한 것이다. 대상 저수지들의 유역 면적은 5.13~122.80 km², 형상계수는 0.12~3.04, 주하천 유로장은 1.75~26.12 km이었다. 대상 유역들의 토지이용별 면적비율을 살펴보면, 논 0.3~23.2%, 밭 1.8~17.2%, 산림 56.1~93.1%, 기타 0.0~11.2%이었다. 대상 저수지들의 강우 및 증발량 자료에 대한 지배관측소는 Thiessen망을 이용하여 선정하였으며, 장성호, 나주호, 담양호, 광주호, 백용저수지의 강우량에 대한 지배관측소는 국토해양부에서 관리하는 강우관측소를 선정하였으며, 그 외의 저수지는 기상청의 기상관측소를 지배관측소로 선정하였다. 각 저수지 상류 유역의 특성을 고려하여 각 매개변수값은 지역화식을 이용하여 추정하였다.

본 연구에서 선정한 24개 저수지의 유입량 모의는 2002년부터 2011년 까지 10년에 대하여 일별로 실시하였다. Table 10은 24개 저수지의 유입량을 모의한 결과를 통계분석한 것이다. 모의기간 동안 강우량에 대한 증발산량 비율을 나타내는 증발산율은 저수지별로 34.8~53.5%이었으며, 평균 증발산율은 42.8%이었다. 강우량에 대한 유출량 비율을 나타내는 유출률은 저수지별로 46.5~64.2%이었으며, 평균 유출률은 56.6%이었다. 가장 큰 유출률은 대평저수지가 나타낸 64.2%이었으며, 가장 작

Table 9. Statistical Characteristics of Twenty-four Reservoirs Selected for Analyzing Their Inflow Patterns

Statistical values	Watershed areas (km ²)	Percentages of land use				Shape factors	Stream lengths (km)
		Paddy (%)	Dry cropland (%)	Forest (%)	Etc. (%)		
Max.	122.80	23.20	17.20	93.10	11.20	3.04	26.12
Min.	5.13	0.30	1.80	56.10	0.00	0.12	1.75
Mean	25.97	5.97	7.04	82.20	4.79	0.63	7.47
St. dev.	27.14	5.49	4.69	9.90	2.92	0.61	5.21

Table 10. Statistical Results from Simulating Inflows from Ungauged Watersheds Upstream of Twenty-four Reservoirs

Statistical values	Rainfalls (mm)	Evapotranspiration		Runoff	
		Amounts (mm)	Rates of eva. (%)	Amounts (mm)	Rates of runoff (%)
Max.	16,406.7	6,914.9	53.5	10,525.7	64.2
Min.	11,351.0	5,029.8	34.8	5,555.4	46.5
Mean	14,070.1	5,968.0	42.8	8,007.5	56.6
St. dev	1,359.2	421.0	5.0	1,341.9	4.8

은 유출률 백용저수지가 나타낸 46.5%였다. 대평저수지는 경기도 양평시에 소재하고 있으며, 유역면적 6.94 km², 주하천유로장 2.55 km, 상류유역의 토지이용은 논 5.9%, 밭 7.8%, 산림 80.9%, 기타 5.4%이다. 백용저수지는 전라남도 나주시에 소재하고 있으며, 유역면적 27.30 km², 주하천유로장 9.94 km, 상류유역의 토지이용은 논 8.8%, 밭 8.4%, 산림 80.1%, 기타 2.3%이다. 두 저수지의 토지이용상태는 전형적인 저수지 상류 유역의 특성을 나타내고 있으며, 큰 차이를 보이지 않는다. 따라서 백용저수지 상류 유역의 평균기온을 포함한 기상요소들이 대평저수지 것들 보다 증발산을 보다 촉진시키는 방향으로 작용하여 백용저수지의 증발산율이 대평저수지의 증발산율 보다 큰 값을 나타냈으며, 이로 인해 대평저수지의 유출률이 백용저수지의 유출률 보다 큰 값을 나타낸 것으로 판단된다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 미계측 유역인 저수지 상류 유역의 유출을 모의하기 위해서 Tank 모형의 구성성분들을 개선하고 매개변수를 지역화했으며, 모형 성능을 검증하고 모형 적용성을 평가하였다. 또한 24개 저수지의 유입량을 모의하고 저수지 상류 유역의 유출특성을 분석하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 미계측 유역의 유출 모의를 위해 개발되었던 Tank 모형의 유출성분과 증발산성분을 개선하였으며, 모형의 매개변수를 유역특성인자와 토지이용상태를 이용하여 지역화하였다. 증발산성분의 매개변수 α 에 대한 모형의 민감도 분석 결과, 매개변수의 변화에 따라 모형이 합리적으로 반응하는 것으로 나타났다.
- 2) 모형 성능을 검증하기 위하여 3개 유역과 1개의 저수지를 선정하였으며, 유역 유출을 모의한 경우에는 총유출량 상대오차가 -4.0~17.0%, RMSE가 2.7~10.2 mm, 상관계수가 0.77~0.91을 나타냈으며, 저수지 수위를 모의한 경우에는 RMSE 0.17 m, 상관계수가 0.94를 나타냈다.
- 3) 모형을 24개 저수지 유입량 모의에 적용한 결과, 대상 기간 동안 증발산율은 34.8~53.5%이었으며, 평균 증발산율은 42.8%이었다. 유출률은 46.5~64.2%이었으며, 평균 유출률은 56.6%이었다.

본 연구에서는 유역 유출 자료를 이용하여 보정한 매개변수를 지역화시킨 Tank 모형을 이용하여 저수지 유입량을 모의하였다. 보다 정확한 저수지 유입량을 추정하기 위해서는 기상자료, 관개량, 저수량 등이 모니터링되어야

하며, 측정 자료를 이용한 매개변수 보정이 필요하다. 또한 본 연구에서 제안한 모형으로 모의된 저수지 유입량 자료는 유역관리 및 저수지 계획, 설계, 운영 등에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Cho, B.H., Bae, D.H., Kim, M.J., and Kim, H.J. (2004). "A study on regionalization of long-term runoff model parameters." *Proceedings of the 2004 Korea Water Resources Association Conference*, KWRA, pp. 1032-1036.
- Cooper, V.A., Nguyen, V.T.V., and Nicell, J.A. (2006). "Calibration of conceptual rainfall-runoff models using global optimization methods with hydrologic process-based parameter constraints." *Journal of Hydrology*, Vol. 334, pp. 455-466.
- Doorenbos, J., and Pruitt, W.O. (1984). Guidelines for predicting crop water requirements. *Food and Agriculture Organization (FAO) Irrigation and Drainage Paper*, No. 24, FAO, Rome, Italy.
- Huh, Y.M., Park, S.W., and Im, S.J. (1993a). "A streamflow network model for daily water supply and demands on small watershed (I): Simulating daily streamflow from small watersheds." *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, KSAE, Vol. 35, No. 1. pp. 40-49.
- Huh, Y.M., Park, S.W., and Park, C.E. (1993b). "A streamflow network model for daily water supply and demands on small watershed(III): Model validation and applications." *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, KSAE, Vol. 35, No. 3, pp. 23-35.
- Jung, I.W., Koo, B.Y., and Bae, D.H. (2006). "A study on evaporation estimation of Tank model." *Proceedings of the 2006 Korea Water Resources Association Conference*, KWRA, pp. 1746-1750.
- Kang, M.G. (2004). *Optimal water allocation using a streamflow network model and a global optimization method*. PH.D. dissertation, Seoul National University, Seoul.
- Kang, M.G., Park, S.W., Im, S.J., and Kim, H.J. (2002). "Parameter calibrations of a daily rainfall-runoff model using global optimization methods." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 35, No. 5, pp. 541-552.

- Kim, B.J., and Park, S.W. (1994). "Optimal reservoir operation models for paddy rice irrigation with weather forecast(II): Model development." *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, KSAE, Vol. 36, No. 2, pp. 44-55.
- Kim, C.G., and Kim, N.W. (2012). "Comparison of natural flow estimates for the Han River Basin using TANK and SWAT models." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 45, No. 3, pp. 301-316.
- Kim, H.Y., and Park, S.W. (1988). "Simulating daily inflow and release rates for irrigation reservoirs: Modeling inflow rates by linear reservoir model." *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, KSAE, Vol. 30, No. 1, pp. 50-62.
- Kim, H.J. (2001). *Development of two-parametric hyperbolic model for daily streamflow simulation*. Ph.D. dissertation, Seoul National University, Seoul.
- Kim, K.C., Shin, M.H., Choi, Y.H., Seo, J.Y., and Choi, J.D. (2008). "Comparison of Water Resources by Kajiyama and SWAT models for an Ungauged Small Watershed." *Proceedings of the 2008 Korea Water Resources Association Conference*, KWRA, pp. 2244-2248.
- Kim, U., and Kaluarachchi, J.J. (2008). "Application of parameter estimation and regionalization methodologies to ungauged basins of the Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia." *Journal of Hydrology*, Vol. 362, pp. 39-56.
- Lee, B.J., Jung, I.W., and Bae, D.H. (2009). "Parameter regionalization of semi-distributed runoff model using multivariate statistical analysis." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 42, No. 2, pp. 149-160.
- Lee, S.H., Ahn, T.J., Yun, B.M., and Shim, M.P. (2003). "A Tank model application to Soyangnag Dam and Chungju Dam with snow accumulation and snow melt." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 36, No. 5, pp. 851-861.
- Lee, S.H., and Kang, S.U. (2007). "A parameter regionalization study of a modified Tank model using characteristic factors of watersheds." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 27, No. 4B, pp. 379-385.
- Lim, D.S., Kim, H.S., and Seoh, B.H. (2001). "A study on computation methods of monthly runoff by water balance method." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 34, No. 6, pp. 713-724.
- Mwakalila, S. (2003). "Estimation of stream flows of ungauged catchment for river basin management." *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 28, pp. 935-942.
- Nandagiri L., and Kovoor, G. (2006). "Performance evaluation of reference evapotranspiration equation across a range Indian climate." *Journal of Irrigation and Drainage*, ASCE, Vol. 132, No. 3, pp. 238-249.
- Noh, J.K. (2003). "Applicability of the DAWAST model considered return flows." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 36, No. 6, pp. 1097-1107.
- Noh, J.K. (2000). "Simulation of daily reservoir inflow using objective function based on storage error." *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, KSAE, Vol. 42, No. 4, pp. 76-86.
- Noh, J.K. (1999). "Generalization of Kajiyama formula for estimating monthly discharges." *Proceedings of the 1999 Korea Water Resources Association Conference*, KWRA, pp. 221-226.
- Rim, C.S., Lim, G.H., Lee, W., and Kim, J.S. (2012). "Sensitivity analysis for Tank model's parameters by applying potential evapotranspiration equations." *Proceedings of the 2012 Korea Water Resources Association Conference*, KWRA, pp. 358.
- Sugawara, M. (1972). *Method of rainfall-runoff analysis*. Kyouritsu Shuppan Co., Ltd, Tokyo, Japan (in Japanese).
- Yokoo, Y., Kazama, S., Sawamoto, M., and Nishimurab, H. (2001). "Regionalization of lumped water balance model parameters based on multiple regression." *Journal of Hydrology*, Vol. 246, pp. 209-222.
- Yoo, C.S., and Park, Y.H. (2006). "A study of the IHACRES model's parameters regionalization for discharge computation on ungauged catchment." *Proceedings of the 2006 Korea Water Resources Association Conference*, KWRA, pp. 1792-1796.
- Yoon, Y.N., and Wone, S.Y. (1991). "A multiple regression model for the estimation of monthly runoff from ungauged watersheds." *Journal of Korea Association of Hydrological Sciences*, Vol. 24, No. 3, pp. 71-81.

논문번호: 13-005	접수: 2013.01.16
수정일자: 2013.02.12/02.21	심사완료: 2013.02.21