

## 수문학적 유역특성자료 자동화 추출 및 분석시스템 적용 (II) -PRMS 모형을 이용한 용담댐 유역을 대상으로-

권형중<sup>1</sup> · 황의호<sup>2</sup> · 이근상<sup>3</sup> · 유병혁<sup>4</sup> · 고덕구<sup>5\*</sup>

### Application of the Developed Pre- and Post-Processing System to Yongdamdam Watershed using PRMS Hydrological Model

Hyung-Joong KWON<sup>1</sup> · Eui-Ho HWANG<sup>2</sup> · Geun-Sang LEE<sup>3</sup>  
Byeong-Hyeok YU<sup>4</sup> · Deuk Koo-KOH<sup>5\*</sup>

#### 요 약

본 연구의 목적은 용담댐 유역을 대상으로 유역특성자료 분석시스템 (KGIS-Hydrology)을 이용하여 PRMS 모형의 입력매개변수를 추출하고 유출모의를 수행함으로써 개발된 유역특성자료 분석시스템 및 추출된 매개변수를 이용한 PRMS 모형의 국내 유역에 대한 적용성을 검토하는데 있다. 용담댐 유역을 대상으로 DEM, 토양도, 임상도 등을 구축하여 유역특성자료 분석시스템에 적용하여 PRMS 모형의 입력 매개변수를 추출하였다. 강수자료 및 기상자료는 기상청의 장수기상관측소의 시계열 자료를 사용하였으며 모의 결과를 검증할 수 있는 하천유출량 자료로서 용담댐 지점(용담댐 유역)과 동향수위관측소(구량천 유역)의 자료를 사용하였다. 장기유출모의 목적에 맞는 PRMS 모형을 구성하고 유역특성자료 분석시스템을 이용하여 추출된 매개변수로서 1966년부터 2001년까지 용담댐 유역에 적용하여 매개변수를 최적화하였다. 최적화된 매개변수를 이용하여 용담댐 유역(2002-2006)에 대하여 검토한 결과 0.49~0.83, 구량천 유역(2001-2004)은 0.57~0.75의 모형효율을 나타내어 모의결과가 실측치에 대하여 높은 모형효율을 나타내었다.

**주요어:** 유역특성자료 분석시스템, PRMS, 입력매개변수, 모형효율

2007년 10월 1일 접수 Received on October 1, 2007 / 2008년 5월 18일 수정 Revised on May 18, 2008 / 2008년 9월 12일 심사완료 Accepted on September 12, 2008

1 국립환경과학원 한강물환경연구소 전문위원 Expert Research, Han-River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

2 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원 Senior Researcher, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation

3 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원 Principal Researcher, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation

4 한국과학기술연합대학원 지리정보시스템공학부 Master Course, Geoinformatic Engineering, Korea University Of Science and Technology

5 한국수자원공사 수자원연구원 연구위원 Research Fellow, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation

\* 연락처 E-mail address: dkkoh@kwater.or.kr

## ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the applicability of extracted PRMS input parameters by KGIS-Hydrology over Yongdam-Dam watershed. KGIS-Hydrology is a system for automatic extraction and analysis of watershed characteristic data. Input parameters of PRMS were generated from GIS data (DEM, soil, forest type, etc.) using KGIS-Hydrology. Multi-temporal meteorological data from Jangsu station of KMA (Korea Meteorological Administration) were used for all simulation periods. Input parameters of PRMS were optimized using observed runoff data of Yongdam-Dam station (1966-2001) and validated using observed runoff data of Yongdam-Dam station (2002-2006, Yongdam-Dam watershed). The results showed that the simulated flows were much closed to the observed flows of Yongdam-Dam (2002-2006) and Donghyang (2001-2004) station by 0.49~0.83 and 0.57~0.75 model efficiencies, respectively.

**KEYWORDS:** *KGIS-Hydrology, PRMS, Input Parameters, Model Efficiency*

## 서론

지구온난화 문제가 심각하게 대두되고 있는 현실에서 수문량의 경년변화 분석이나 돌발강우에 의한 홍수량 추정, 미래 가용 수자원 양의 평가와 같은 수문분석을 위해 수많은 연구가 진행되어 왔다 (김성준 등, 2003; 권형중 등, 2003; 이준우 등, 2003; 임혁진 등, 2006; 이미선 등, 2005; 정일원 등, 2005). 일반적으로 시계열 강우-유출 분석과 같은 수문분석을 위해서는 국·내외에서 개발된 다양한 수문모형이 사용되는데 과거 개념적인 집중형 모형을 지양하여 물리적 기반의 분포형 혹은 준분포형 모형이 주로 사용된다. 대표적인 수문모형으로 TOPMODEL (Beven and Kirkby, 1976, 1979), PRMS (Leavesley et al., 1983), HSPF (Bicknell et al., 2001), KIMSTORM (Kim et al., 2000) 등이 있는데 이러한 모형들의 대부분은 국외에서 개발된 모형이며 국내에서 구축된 GIS 공간자료를 이용하여 모형의 입력 자료를 구축하는데 많은 시간과 비용이 소모되고 있다.

일반적으로 수문모형의 입력자료를 구축하기 위해서 대표적인 전처리기인 GIS WEASEL (Viger et al., 2007)을 사용하거나 매개변수

입력자료 포맷에 맞추어 직접 작성하는 방법을 사용하여 왔다. 하지만 이러한 방법들은 국내 유역에 적용하는데 있어 사용되는 GIS 자료가 미국의 자료의 종류 및 형태와 상이하다. 따라서 적용하고자 하는 국내 대상유역의 특성을 적절하게 표현할 수 있는 매개변수를 추출하기가 매우 어려운 실정이다.

본 연구에서는 GIS WEASEL을 벤치마킹하여 국내 유역에 적합한 입력매개변수 추출이 가능하도록 개발된 유역특성자료 분석시스템을 이용하여 PRMS 모형의 매개변수를 추출하였다. 이렇게 추출된 매개변수의 국내 적용성을 검토하기 위하여 용담댐 유역(930.4 km<sup>2</sup>) 및 용담댐 유역 내에 포함되어 있는 단위유역인 구량천 유역(172.4 km<sup>2</sup>)에 대하여 시계열 기상자료를 이용한 장기유출분석을 통하여 유역 특성자료 분석시스템 및 PRMS 모형의 용담댐 유역에 대한 적용성을 검토하였다.

## 자료 및 방법

### 1. PRMS 모형의 기본이론

PRMS 모형은 유역을 지형학적 특성이 균일한 소유역으로 나누어 각 소유역별 매개변

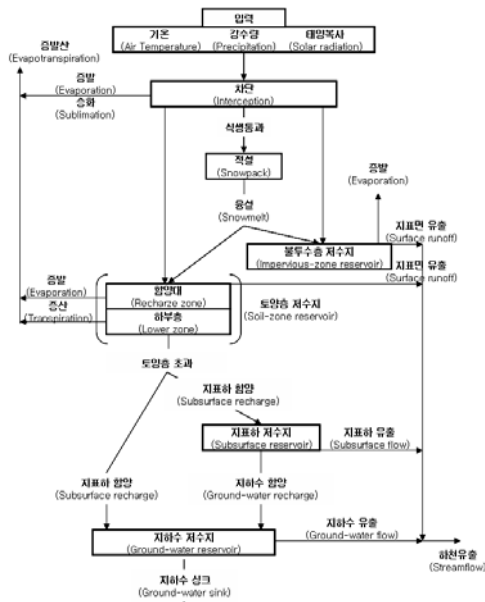


FIGURE 1. Conceptual flow diagram of PRMS

수를 산정하고, 유출 분석을 통해 추출된 각 소유역별 수문학적 반응의 합을 유역의 총유역 반응으로 계산한다. 이러한 소유역을 수문 응답단위(Hydrologic Response Unit, HRU)라고 부른다. 그림 1은 PRMS 모형의 개념적 유역수문순환 시스템을 나타낸 것이다.

시계열 입력자료는 기온자료와 강수량자료, 태양복사량 자료가 필요하며 태양복사량 자료는 모형 내부에서 추출할 수 있다. 일단 유역에서 발생한 강수는 식생에 의해 일부 차단되고, 차단된 강수는 증발에 의해 제거된다. 나머지 식생을 통과한 순강수는 지표면에 도달하며, 지표면은 토양층(soil-zone)과 불투수층(imperious-zone)으로 나뉘어진다. 불투수층에 침투된 강수는 일단 저류되고 일부는 기온과 태양복사량으로 인해 증발된다. 이때 강수량이 불투수층 저수지의 저류량을 초과하면 지표면 유출이 발생하여 하천으로 유출된다.

토양층은 함양대(recharge zone)와 하부층(lower zone)으로 나누어지고 함양대에서는 증

발과 증산이 발생하고 하부층에서는 증산만 발생한다. 토양층에 침투된 강수는 일부는 저류되고 토양층 저류량을 초과하면 지하수저수지(groundwater reservoir)나 지표하저수지(subsurface reservoir)로 유입된다. 지표하저수지에서는 지표하 유출과 지하수 함양이 발생하고, 지하수저수지에서는 지하수 유출과 지하수 싱크(groundwater sink)가 발생한다. 지표면 유출량과 지표하 유출량, 지하수 유출량의 합이 HRU에서의 하천 유출량으로 계산된다.

## 2. GIS 자료

PRMS 모형의 매개변수 추출을 위한 유역 특성자료 분석을 위해서는 각종의 GIS 자료 구축 및 가공이 요구되며 유역특성자료 분석 시스템에 입력되는 기초 자료로는 DEM, 토양도, 임상도, 유역도 등이 있다. 본 연구에서는 시험 연구 대상지인 용담댐 유역의 GIS DB를 구축하여 유역특성자료 분석을 위하여 모형의 입력 자료로 활용하였다.

사용된 GIS 공간자료는 모두 유역조사 사업(건설교통부, 2006)의 결과물을 사용하였다. DEM (30×30m)은 국토지리정보원에서 발간한 1:5,000 수치지형도의 등고선(7111, 7114) 및 표고점 레이어(7217)를 사용하여 구축되었으며 용담댐 유역의 표고는 200.7에서 1,572m의 범위를 나타내었다. 토양도는 농촌진흥청에서 발간한 1:50,000 축척의 개략토양도를 사용하였으며 포함된 속성으로는 토양명, 토양코드, 토성, 경사, 배수정도, 토지이용, 지질특성 등에 관한 정보가 포함되어 있다. 임상도는 산림청에서 발간한 1:25,000 임상도를 이용하였으며 임상, 경급, 영급, 수관밀도 등의 식생정보가 포함되어 있다. 수자원단위지도는 PRMS 모형의 HRUs로서 사용하였으며 용담댐 유역의 표준유역을 사용하였다. 그림 2는 유역특성자료 분석시스템의 입력자료로 사용되는 용담댐 유역의 GIS 자료를 나타낸 것이다.

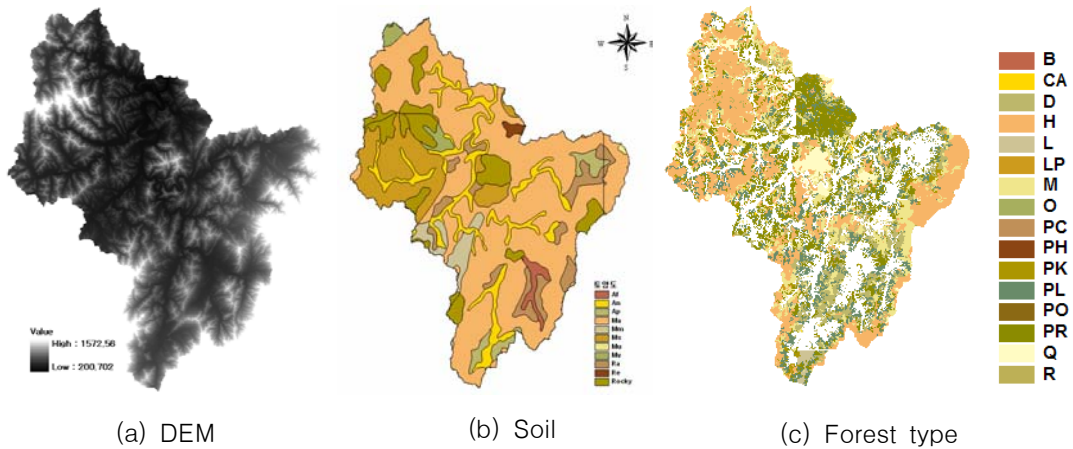


FIGURE 2. GIS data for Yongdam-dam watershed

### 3. 기상자료 및 수문자료

시계열 장기유출모의를 위한 기상자료는 용담댐유역 내에 위치한 기상청의 장수관측소의 기상자료를 사용하였다. PRMS의 장기일유출 모의를 위해서는 강수, 최고기온, 최저기온과 같은 기상속성이 필요하며 전 모의기간에 대하여 적용하였다. 수문자료는 강우-유출 모의 결과를 검증할 수 있는 하천유출량 자료를 적용하였다. 용담댐유역 전체 유출량 자료는 용담댐 지점에서의 유출량 자료를 1966년부터 2006년까지 적용하였고 구량천유역의 유출량 자료는 동향수위관측소의 하천유출량 자료를 2001년부터 2004까지 적용하였다. 댐 지점의 유출량자료는 하천수위 지점 자료에 비해 비교적 정확하다고 평가되고 있다. 특히 댐의 유입량 자료는 댐 상류의 큰 인위적인 영향이 없는 경우 유역의 자연유출량을 파악할 수 있는 기본 자료로서 활용이 가능하다.

## 결과 및 고찰

### 1. KGIS-Hydrology를 이용한 모형의 입력 매개변수 추출

구축된 GIS 공간자료를 이용하여 KGIS-Hydrology 시스템으로 용담댐 유역에 대한

PRMS 모형의 매개변수를 추출하였다. 장기 일유출 모의를 위한 PRMS 모형에 사용되는 매개변수는 총 104개 인데 이렇게 많은 매개변수를 추출하기 위하여 기존의 전처리기인 GIS WEASEL을 사용할 경우 국내 GIS 공간자료 내의 구축된 속성이 WEASEL에서 요구하는 형태와 상이하기 때문에 속성자료를 편집하는 번거로움이 있으며 전처리기를 사용하지 않고 GIS 공간자료로부터 직접 매개변수를 추출하는 경우에는 다른 유출 모형에 비하여 매개변수를 추출하는데 비교적 많은 시간이 소요되는 실정이다.

본 연구에서는 PRMS 모형의 매개변수 추출시 발생하는 이러한 번거로움을 해소하기 위하여 개발된 KGIS-Hydrology 시스템을 이용하여 매개변수를 추출하였는데 이 시스템은 유역조사사업에서 구축된 GIS 공간자료를 편집과정 없이 그대로 사용이 가능하며 기존의 분할되어 있는 소유역 단위로 매개변수를 추출할 수 있는 장점이 있다. 장기 일유출 모의를 위하여 KGIS-Hydrology 시스템 내의 매개변수 추출 메뉴의 MMS 모듈(PRMS 모형의 최신 버전인 MMS 모형의 장기 일유출 모의를 위한 매개변수 추출 모듈)에 수자원단위지도, DEM, 토양도, 임상도를 입력하여 PRMS 모형의 매개변수를 추출하였다.

## 2. 매개변수 민감도 분석 및 모형의 보정

모형의 매개변수 검토시 매개변수의 보정기간의 선정은 매우 중요한 문제로 인식되고 있다. Sorooshian and Gupta (1995)에 의하면 통계적인 관점에서 모형의 보정기간은 보정된 매개변수 개수의 최소한 20배 정도의 기간이 필요하며 표준편차는 자료 개수의 제곱근에 반비례 한다고 제시하였다. 또한, 보정기간의 선정에서 중요한 사항은 홍수기, 평수기, 갈수기가 고르게 분포된 기간을 선정해야 한다는 것이다. 따라서 유역특성자료 분석시스템으로부터 추출한 PRMS의 매개변수의 보정을 위하여 용담댐 지점의 1966년부터 2001년까지 Rosenbrock (1960) 방법을 이용한 최적화 기법과 민감도 분석을 통하여 매개변수를 보정하였

다. 보정된 매개변수의 검증을 위해서 용담댐 유역(2002년부터 2006년까지의 용담댐 지점 유출량 자료)과 용담댐 유역 내의 구량천 유역(2001년부터 2004년까지의 동향수위관측소 유출량 자료)에 대하여 적용하였다.

일반적인 PRMS 모형의 보정과정은 강우 및 증발산 관련 매개변수를 보정하여 모의 기간 동안의 총 모의 유출량이 관측 유출량의 5% 이내의 오차에 만족하고 민감도 분석을 통하여 유출 거동에 영향을 미치는 매개변수를 선정하고 다양한 수치 오차를 목적함수로서 모형을 보정한다 (Leavesley et al., 1983). 본 연구에서는 rain\_adj와 homon\_coef를 조정하여 총 유출량을 보정하였고 smidx\_coef와 smidx\_exp를 조정하여 홍수유출 거동을 보정하였으며 지하 유출 관련 매개변수(gwflow\_coef, gwsink\_coef)

TABLE 1. Optimized parameters using sensitivity analysis

Parameters	Definition	Range		Opt. val.
		Min.	Max.	
smidx_coef	Coefficient in non-linear contributing area algorithm, Equation used is : contributing area = smidx_coef*10.**(smidx_exp*smidx) where smidx is soil_soilt + 0.5 * ppt_net	0.0001	0.1	0.0027
smidx_exp	Exponent in non-linear contributing area algorithm, Equation used is : contributing area = smidx_coef*(10.**(smidx_exp*smidx)) where smidx is soil_moist + 0.5 * ppt_net	0.2	0.8	0.305
gwflow_coef	Groundwater routing coefficient - is multiplied by the storage in the groundwater reservoir to obtain groundwater flow contribution to streamflow (Units:1/day)	0	1	0.02
gwsink_coef	Groundwater sink coefficient - is multiplied by the storage in the groundwater reservoir to compute the seepage from each reservoir to a groundwater sink (Units:1/day)	0	1	0
soil2gw_max	The maximum amount of the soil water excess for an HRU is routed to the associated ground water reservoir each day	0	5	0.021
ssr2gw_exp	Coefficient in equation used to route water from the subsurface reservoirs to the groundwater reservoir: ssr_to_gw = ssr2gw_rate*((ssres_stor/ssrmax_coef)*ssr2gw_exp)	0	3	0.001
ssr2gw_rate	Coefficient in equation used to route water from the subsurface reservoirs to the groundwater reservoir: ssr_to_gw = ssr2gw_rate*((ssres_stor/ssrmax_coef)*ssr2gw_exp)(Units:1/day)	0	1	0.032
ssrcoef_lin	Coefficient to route subsurface storage to streamflow using the following equation: ssres_flow = ssrcoef_lin * ssres_stor + ssrcoef_sq * ssres_stor**2(Units:1/day)	0	1	0.005
ssrcoef_sq	Coefficient to route subsurface storage to streamflow using the following equation: ssres_flow = ssrcoef_lin * ssres_stor + ssrcoef_sq * ssres_stor**2	0	1	0.194

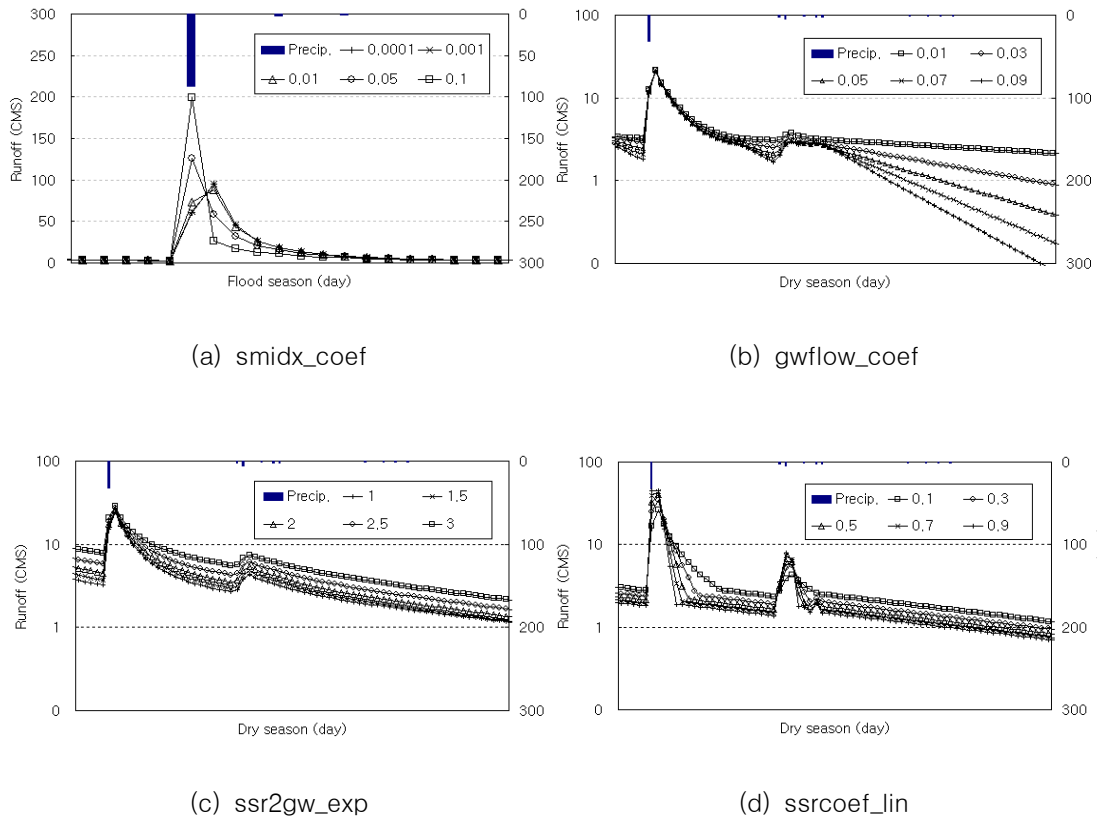


FIGURE 3. Sensitivity analysis

와 중간유출 관련 매개변수(soil2gw\_max, ssr2gw\_exp, ssr2gw\_rate, ssrcoef\_lin, ssrcoef\_sq)를 조정하여 기저유출 거동을 보정하였다 (정일원 등, 2005). 보정에 사용된 매개변수들은 KGIS-Hydrology 시스템에서 GIS 공간자료를 이용하여 추출된 매개변수가 아닌 PRMS에서 제시된 기본값을 사용하는 매개변수이다.

민감도 분석 결과 smidx\_coef와 smidx\_exp는 지표유출에 관련된 매개변수로서 침투 유출량과 발생시간과 같은 유출거동에 민감하게 반응하였고 지하유출에 관련된 매개변수는 기저유출이 발생하는 시점 및 유출량은 동일하나 기저유출의 기울기에 민감하게 반응하였고 중

간유출에 관련된 매개변수는 기저유출의 기울기는 동일하나 기저유출의 발생 시점 및 유출량과 같은 유출거동에 민감하게 반응하였다. 표 1은 모형의 보정에 사용된 주요 매개변수 현황을 정리한 것이며 그림 3은 주요 매개변수의 민감도 분석 결과를 나타낸 것이다.

### 3. PRMS 모형의 적용

PRMS 모형은 유역의 특성이나 모의하고자 하는 목적에 맞게 각각의 모듈을 선택적으로 사용할 수 있는데 본 연구에서는 장기유출분석이 가능하도록 PRMS 모형을 구성하였다. 용설의 영향을 고려하였으며 태양복사량 계산

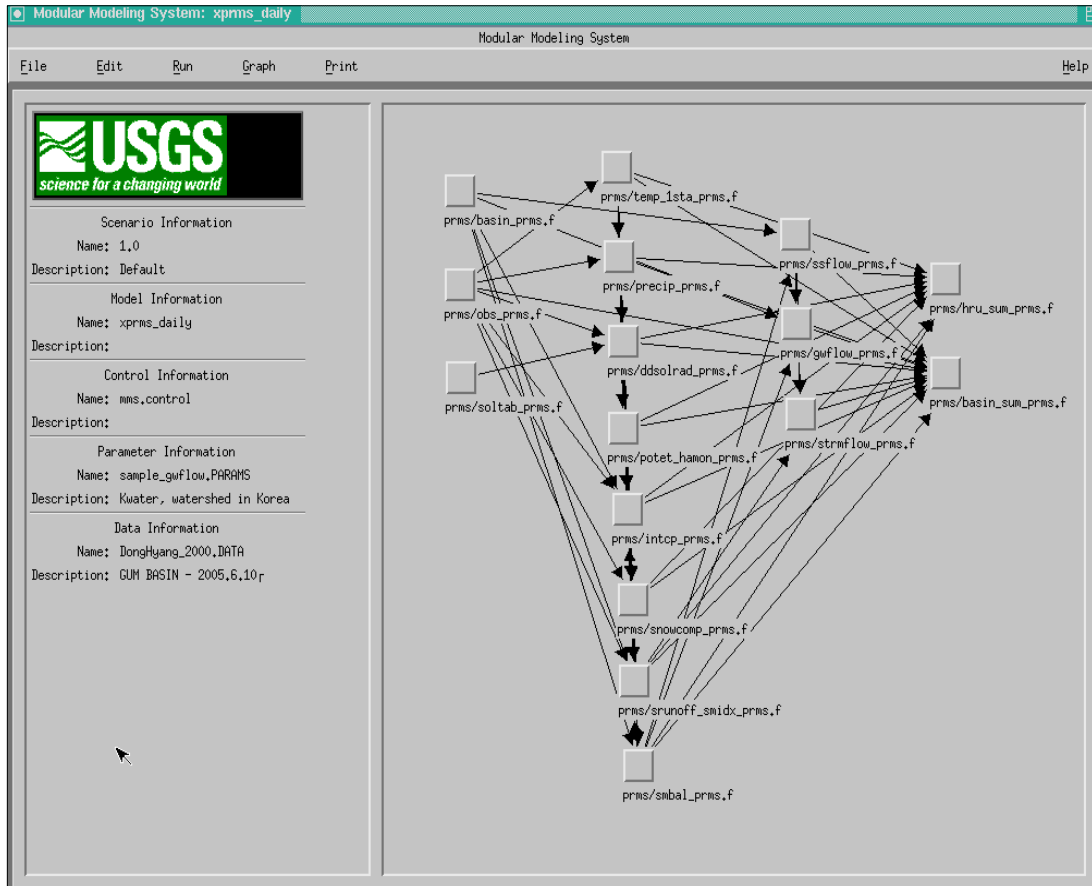


FIGURE 4. PRMS model for daily runoff simulation (MMS version)

은 도일계수와 최고기온의 관계를 이용하는 Leaf and Brink (1973) 방법을 사용하였고 증발산량은 Hamon (1961) 방법을, 지표유출에서는 비선형 추적방법을 사용하였다 (그림 4).

KGIS-Hydrology 시스템으로부터 추출된 PRMS 모형의 매개변수를 최적화 기법 및 민감도 분석을 통하여 모형을 보정하고 장기유출분석이 가능하도록 구성된 PRMS 모형을 이용하여 용담댐 유역(용담댐 지점: 2002~2006)과 구량천 유역(동향수위관측소 지점: 2001~2004)에 대하여 적용하였다. 최적화된 매개변수로서 용담댐 유역 2002년부터 2006년까지 연도별로 모의한 결과 유출용적 오차 (VE)는 약 10%~50%로서 실측유량에 비하여

모의유량이 모의 전 기간에 대하여 다소 높은 유출고를 나타내는 경향을 보였다. 이러한 결과에 대하여 상관계수는 0.77에서 0.92까지 매우 높은 상관성을 나타내었고 RMSE는 약 2~5 mm/day까지 나타내었으며 모형효율은 0.49에서 0.83으로 관측치에 대한 적합도를 나타내었다.

구량천 유역에 대하여 2001년부터 2004년까지 적용한 결과 실측유량에 비하여 모의유량이 모의 전 기간에 대하여 다소 낮은 유출고를 나타내는 경향을 보였다. 이때 상관계수는 0.84에서 0.92까지 매우 높은 상관성을 나타내었고 유출용적 오차(VE)는 약 30%에서 50%까지 낮게 모의된 것으로 나타났다. RMSE는

TABLE 2. Statistical results of PRMS modeling

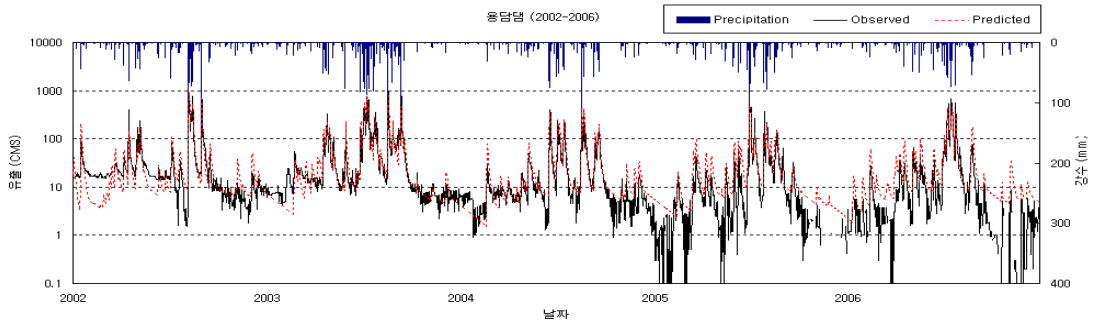
대상 유역	년도	강수 (mm)	실측		모의		상관계수	VE (%)	RMSE (mm/day)	ME
			유출량 (mm)	유출율 (%)	유출량 (mm)	유출율 (%)				
용담댐 유역	2002	1,699	1,165	69	1,329	78	0.85	14.12	4.97	0.59
	2003	2,208	1,686	76	1,847	84	0.92	9.55	4.06	0.83
	2004	1,398	786	56	1,024	73	0.92	30.16	2.25	0.79
	2005	1,432	586	41	879	61	0.77	50.19	3.33	0.49
	2006	1,354	744	55	996	74	0.88	33.87	3.30	0.76
구량천 유역	2001	1,361	602	44	417	30	0.84	-30.63	5.59	0.63
	2002	1,698	731	43	628	37	0.92	-37.99	6.57	0.75
	2003	2,207	1,668	75	802	36	0.91	-46.27	9.69	0.64
	2004	1,398	731.7	52	441	31	0.91	-55.33	5.35	0.57

$$\text{상관계수} = \frac{\sum (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum (O_i - \bar{O})^2 \sum (S_i - \bar{S})^2}}$$

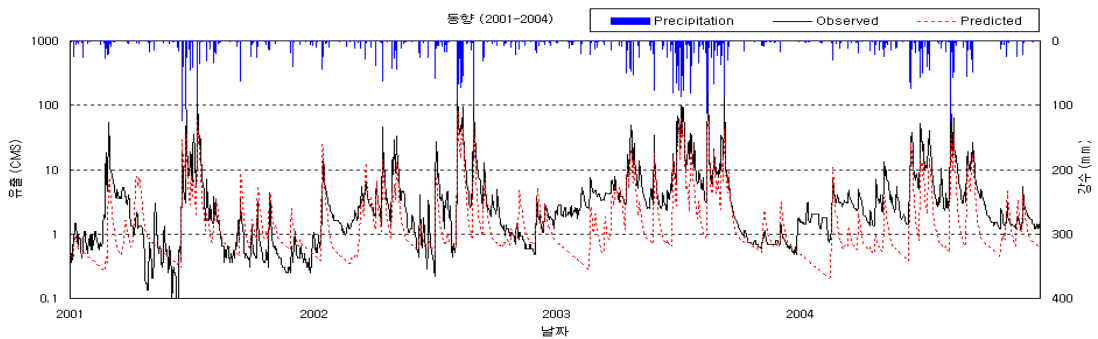
$$VE \text{ (유출용적오차)} = \frac{\sum S_i - \sum O_i}{\sum O_i} \times 100$$

$$\text{평균제곱근오차} = \sqrt{\frac{\sum (O_i - S_i)^2}{n}}$$

$$ME \text{ (모형효율계수)} = \frac{\sum (O_i - \bar{O})^2 - \sum (O_i - S_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2}$$



(a) Yongdamdam watershed (2002-2006)



(b) Guryangcheon watershed (2001-2004)

FIGURE 5. Simulation results



약 5mm/day에서 10mm/day까지 나타내었으며 모형효율은 0.57에서 0.75의 관측치에 대한 적합도를 나타내었다 (표 2, 그림 5).

이상의 결과로 미루어 볼 때, 국내에서 구축된 GIS 공간자료를 이용하여 국내 실정에 맞는 유출매개변수의 추출이 가능한 유역특성자료 분석시스템을 이용함으로써 PRMS의 입력매개변수를 추출하는데 있어 기존의 방법보다 편리하게 추출이 가능하였으며 이를 용담댐 유역 및 구량천 유역에 적용한 결과 높은 적합도를 보이고 있어 국내 유역의 유출 분석시 유역특성자료 분석시스템 및 PRMS 모형의 활용성은 매우 높은 것으로 사료된다.

## 요약 및 결론

용담댐 유역 및 구량천 유역을 대상으로 유역특성자료 분석시스템을 이용하여 PRMS 모형의 입력매개변수를 추출하고 유출모의를 수행함으로써 개발된 유역특성자료 분석시스템의 국내 유역에 대한 적용성을 검토하였다. 본 연구를 요약하면 다음과 같다.

- ① 유역특성자료 분석시스템을 이용하여 PRMS의 입력 매개변수를 추출하기 위하여 유역조사사업에서 구축된 용담댐 유역의 DEM, 토양도, 임상도 등을 사용하였다. 이로 인해 매개변수 추출을 위한 별도의 GIS 공간자료의 구축과정 없이 기존의 자료를 직접 사용하는 것이 가능하였다.
- ② 유역특성자료 분석시스템의 PRMS 매개변수 추출 모듈을 이용하여 104개의 PRMS 매개변수 중 GIS 자료로부터 추출이 가능한 공간 매개변수 30개를 추출하였고 나머지 매개변수는 MMS 모듈로부터 기본값으로 추출하였다.
- ③ 유역의 지형특성에 관련된 매개변수는 DEM으로부터, 토양과 관련된 매개변수는 토양도의 토양종류 및 깊이 속성으

로부터, 식생과 관련된 매개변수는 임상도의 임상 속성으로부터 추출이 가능하였다.

- ④ 추출된 매개변수로서 용담댐 유역의 1966년부터 2001년까지의 유출량 자료를 이용하여 매개변수를 최적화 하였고 2002년부터 2006년까지의 유출량 자료로서 검증한 결과 모형효율은 0.49에서 0.83으로 모의치가 관측치에 대하여 높은 적합도를 나타내었다.
- ⑤ 국내에서 구축된 GIS 공간자료를 이용하여 국내 실정에 맞는 유출매개변수의 추출이 가능한 유역특성자료 분석시스템을 이용함으로써 PRMS의 입력매개변수를 추출하는데 있어 기존의 방법보다 편리하게 추출이 가능함을 확인하였고 국내 유역의 유출 분석시 유역특성자료 분석시스템의 활용성은 매우 높은 것으로 사료된다. **KAGIS**

## 참고 문헌

- 건설교통부. 2006. 금강 유역조사 사업.
- 권형중, 김성준. 2003. TOOPMODEL과 Muskingum 기법을 연계한 안성천 유역의 홍수유출 분석. 한국지리정보학회지. 6(1):1-11.
- 김성준, 박근애, 정인균, 권형중. 2003. WMS HEC-1을 이용한 안성천 평택수위관측소 상류 유역의 수문 경년변화 분석. 한국수자원학회 논문집. 36(4):609-621.
- 이미선, 박근애, 권형중, 김성준. 2005. 농촌유역의 도시화 진전에 따른 수문환경 변화. 한국농촌계획학회지. 11(1):17-24.
- 이준우, 권형중, 신사철, 김성준. 2003. WMS HEC-1 모형을 이용한 경안천유역의 경년 수문변화 분석. 한국지리정보학회지. 6(1):107-118.
- 임혁진, 권형중, 배덕효, 김성준. 2006. CA-Markov 기법을 이용한 기후변화에 따른 소양강댐 유역의 수문분석. 한국수자원학회 논문집. 39(5):453-466.

- 정일원, 배덕효. 2005. 국내유역에서의 PRMS 모형의 적용성에 관한 연구. 한국수자원학회논문집. 38(9):713-725.
- Beven, K.J. and M.J. Kirkby. 1976. Towards a simple physically-based variable contributing area model of catchment hydrology. Working Paper 154. School of Geography, University of Leeds.
- Beven, K.J. and M.J. Kirkby. 1979. A physically based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol. Sci. Bull.* 24:43-69.
- Bicknell, B.R., J.C. Imhoff, J.L. Kitte, T.H. Jobs and A.S. Donigan. 2001. Hydrologic Simulation Program - Fortran (HSPF) user's manual for Version 12. Environmental Protection Agency, National Exposure Research Laboratory, Athens, GA.
- Hamon, W.R. 1961. Estimating potential evapotranspiration. *Proceedings of the ASCE, Journal of the Hydraulic Division.* 87(HY3):107-120.
- Kim, S.J., S.J. Kim and H.S. Chae. 2000. Application of Grid-based Kinematic Wave Storm Runoff Model (KIMSTORM). *Water Engineering Research*, 1(4):321-330.
- Leaf, C.F. and G.E. Brink. 1973. Hydrologic simulation model of Colorado subalpine forest. USDA, Forest Service Research Paper RM-107.
- Leavesley, G.H., R.W. Lichty, B.M. Troutman and L.G. Saindon. 1983. Precipitation-Runoff Modeling System, User's manual. *Water Resources Investigations*, pp. 83-4238. USGS.
- Rosenbrock, H.H. 1960. An automatic method of finding the greatest or least value of a function. *Computer Journal* 3:175-184.
- Sorooshian, S. and V.K. Gupta. 1995. Model calibration. In: V.P. Singh, Editor, *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publication, Highlands Ranch, CO.
- Viger, R.J. and G.H. Leavesley. 2007. The GIS Weasel User's manual. U.S. Geological Survey *Techniques and Methods*, book 6, chap. B4, USGS. 