

## PRMS의 HRU크기에 따른 장기유출특성

### Long-term runoff characteristics on HRU variations of PRMS

김 남 원\* / 김 현 준\*\* / 박 선 호\*\*\*

Kim, Nam Won / Kim, Hyeon Jun / Park, Sun Ho

#### Abstract

In this study, the PRMS(Precipitation and Runoff Modeling System), developed by USGS(United States Geological Survey), was applied to the Yongdam dam watershed in the Geum River basin. The efficiency for runoff simulation and spatial characteristics of PRMS were evaluated. The runoff changes with the changes of subcatchments and HRUs were estimated. As results, the size of the subcatchment and HRU did not significantly affect the runoff at the exit of watershed. Consequently, the spatial characteristic of PRMS was shown as lumped type rather than semi-distributed. The geographical input data for Yongdam dam watershed were converted to the USGS input type, and the parameters were calibrated using Rosenbrock optimization method, validated with the observed runoff data. The PRMS showed reasonable agreements in the long-term continuous runoff simulation, if the accuracy of observed data is ensured.

**keywords** : MMS, PRMS, GIS Weasel, Hydrologic Response Unit

#### 요 지

본 연구는 미국 지질조사국에서 개발된 장기유출모형인 PRMS 모형을 금강유역 내 용담댐유역에 적용함으로써 PRMS 모형의 공간적인 특성과 유출 모의에 대한 효율성을 검토하였다. 공간적인 유출특성을 구체화하기 위하여 소유역구분과 HRU 수의 증감에 따른 유출의 변화를 고찰하였다. 그 결과 소유역 구분에 따라, HRU증감에 따라 유역말단부에서 유량의 변화는 실제로 크게 변화하지 않는 것으로 나타났으며, 따라서 PRMS 모형은 준 분포형적인 성질보다는 오히려 집중형의 성질을 갖는 모형을 알 수 있었다. 반면, 용담댐유역의 지형입력자료를 USGS의 입력 자료형식으로 변환하고 소유역과 HRU를 고정한 후 최적화 과정을 통하여 유역특성의 매개변수를 설정하였고 이를 실측치와 비교하여 국내 유역의 PRMS 모형의 적용성을 검증하였다. 그 결과 실측자료의 정확성이 제고될 경우, PRMS 모형은 장기 유출특성을 잘 모사하는 모형으로 적용이 가능할 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 모듈모형시스템, 장기유출, PRMS, GIS Weasel, 수문반응응답단위

\* 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원

Research Fellow, Water Resources Research Dept., KICT, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea  
(E-mail: nwkim@kict.re.kr)

\*\* 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원

Research Fellow, Water Resources Research Dept., KICT, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea  
(E-mail: hjkim@kict.re.kr)

\*\*\* (주)도화종합기술공사 수자원개발부 대리

Assistant Manager, Dohwa Consulting Engineers Co. LTD., Yeoksamdong, Gangnamgu, Seoul, 135-080, Korea  
(E-mail: shark@dohwa.co.kr)

## 1. 서론

강우, 증발산, 유출, 토양수분 등의 수문성분 해석은 각 성분의 작용과 거동을 검토하고 이를 조합하여 하나의 모형의 형태로 조합하려는데 그 목적이 있으나 일반적으로 검증이 가능한 유출성분 모의에 그 초점이 맞추어지고 있다. 물론, 유출해석에 목적에 따라 각 수문성분의 해석도 약간씩 달라진다. 홍수를 방어하거나 예보하기 위한 수단 즉, 치수적인 측면에서 유출을 해석하기 위해서는 무엇보다도 시간에 따른 홍수수문곡선 및 침투유량이 중요하며, 따라서 이때 이용되는 수문성분은 강우, 침투, 저류량 등이 중요하며, 증발산에 대한 해석이 거의 필요없게 되며 국내에 잘 알려진 HEC-1, 저류함수법 등이 이러한 단기 유출을 모사하는데 주로 이용된다. 반면에 저수지 용량결정, 관계용수의 배분, 하천유지유량, 공급수량결정 등의 이수적인 측면에서는 시간단위의 유출량 보다는 이보다 좀 긴 시간 구간 즉, 일간격, 월간격 등의 유량이 필요하게 된다. 따라서 이때 이용되는 수문성분은 강우, 증발산, 토양수분 등이 중요하며, 침투나 유역저류형태는 상대적으로 덜 필요하게 된다. 일반적으로 이런 모형을 긴 시간의 모의가 필요하기 때문에 장기유출모형이라기도 하고, 단기유출모형과 대비하여 연속유출모형이라기도 한다. 여기에서 초점을 맞추고 있는 것은 장기 유출 형태로, 수문성분을 물리적으로 잘 조합시켜서 유출 거동을 파악하려는 데 있다.

장기유출모형과 관련된 국내의 기술개발은 1980년대에 TANK 모형의 적용이 시작되어 DAWAST(노재경, 1991)와 다중감수수문모형(김현준 등, 1993) 등의 순수히 국내에서 개발되기도 하였으며, 주로 과거 미국에서 개발된 SSARR, NWS-PC, TOPMODEL 등의 다양한 집중형 유출 모형이 적용되기에 이르렀다. 최근에는 선진 외국의 경우와 같이 GIS와 RS를 이용한 모형(장철희 등, 2003)의 적용을 시도하고 있으나, 아직까지 그 적용 사례는 많지 않다. 국외의 경우 과거에 개발된 집중형 모형을 준분포형 또는 분포형 모형으로 확장하고 GIS/RS와 연계하여 수문성분을 해석하고 있으며, 이러한 경향은 이미 보편화되어 있다(김남원, 2002).

본 연구에서는 장기유출 모형으로서 준 분포형의 성질을 처음 도입하여 미국 지질조사국에서 개발한 PRMS(Precipitation Runoff Modeling System)모형을 국내의 용담댐 유역에 적용하여, 이 모형의 독특한 특징 및 성질을 우리 유역에 알맞게 논의하는 한편 유출의 모의 능력에 따른 적용성을 검토하고자 하였다. 이 PRMS(Dos용과 Unix용 PRMS의 내부 모듈이 서로 상

이하지만 본 논문에서는 Unix용 PRMS(임)모형은 강우, 용설, 증발산, 토양수분 등과 같은 일반적인 수문성분들은 물론 지표수의 지하수의 상호거동까지 해석이 가능하며, 일반적인 집중형 모형의 특징을 아주 작은 수문반응단위(Hydrology Response Unit :HRU)를 이용하여 처음으로 분해하였다는 데 의의가 큰 모형이다.

현재 국내 유역의 PRMS 적용현황은 김철 등(2002)이 Dos 버전의 PRMS를 황룡강유역에 적용한 예가 있으며, 구해진 등(2003)은 PRMS모형을 괴산댐과 충주댐 유역에 적용하여 태양복사량과 잠재증발산량의 매개변수 민감도 분석을 수행한 바 있다. 정일원 등(2003)은 괴산댐유역에 PRMS와 탱크모형을 동일하게 적용하여 PRMS모형의 국내 적용성을 검증한 바 있는 등 이 모형의 적용성을 검토한 바 있으나, 모형의 특징에 대하여 논의한 바는 없다.

현재 PRMS 모형은 확정론적 모형으로, 매개변수의 공간적 변이를 고려하는 준분포형 모형(semi-distributed model)로 알려져 있다. 다시 말하면, HRU라는 수문응답단위에 의하여 유출의 제현상을 공간적으로 해석하고자 하였다는 것이 특징이며 이것이 분포형적 성질을 띠게 한 것이다. 따라서 본 연구에서는 GIS Weasel을 이용한 용담댐의 입력매개변수 자료구축을 실행후 PRMS의 가장 독특한 특성인 HRU 수의 변화에 따라서 유출의 제현상이 어떻게 변하는지에 대한 검토를 수행하고자 하였으며, 또한 이에 따른 적용성이 어느 정도의 효율을 가지는지를 집중적으로 분석하였다.

## 2. 모형의 구성과 내용

### 2.1 PRMS 모형의 종류와 선택

PRMS(Leavesley 등, 1983)의 종류는 도스용과 UNIX버전으로 분류되어 있다. 1983년에 개발된 DOS용 PRMS는 1984년 수문시계열자료를 WDM(Watershed Data Management)파일로 입력할 수 있도록 개선되었고, 1991년에 WDM파일에 수문시계열자료의 출력이 가능하도록 개선되었다. PRMS의 UNIX 버전은 1996년 개발되었으며, MMS(Modular Modeling System)의 내장 프로그램으로 수록되어 있다. 본 연구에서는 1991년 이후 버전의 업데이트가 제공되고 있지 않는 DOS버전 PRMS모형 대신에 최근까지 모형의 업데이트가 진행 중인 UNIX버전 PRMS모형을 장기 강우-유출모형으로 선정하였다.

### 2.2 PRMS 모형의 구성

수문모형에 사용되는 분포형 모형 및 준분포형 모형

의 개념들은 유역내 수문학적 특성이 일치하는 소유역으로 세분하여 적용하는데 다양한 개념이 적용된다(임혁진 등, 2004).

본 모형은 토지이용상태, 토양상태, 경사방향에 따라서 수문학적 유출응답이 동질한 유역으로 정의하고, 이를 HRU(Hydrologic Response Unit)라고 하였다. 즉, 한 소유역내에 서로 다른 HRU를 조합하여 유출해석을 수행하기 때문에 준분포형적 성격을 가진다. 따라서 PRMS 모형은 준분포형 장기 강우-유출모형으로서 다양한 강우, 기후, 토지이용조건에 대한 유역반응의 영향을 평가하기 위하여 미국 지질조사국에 의해 개발되었다.

이를 좀더 구체적으로 살펴보면, PRMS 모형은 그림 1과 같은 구조를 가지며 유역을 경사, 경사향, 고도, 식생, 토양 및 강우분포의 특성에 의한 단위유역인 HRU별로 수문성분 해석이 이루어진다.

차단은 식생피복지수와 차단저류능에 의해 발생된다. 토양저류층은 2개로 구성되는데 상부층(recharge zone)과 하부층으로 구분된다. 상부층은 함양이 이루어지는 층으로써 강우에 의한 침투와 용설에 의해 증가하며, 증발산에 의해 감소한다. 하부층의 손실은 증산에 의해 서만 발생한다. 잠재증발산량은 계기증발산에 월보정계수를 적용하거나 일평균기온과 일조시간을 이용하여 산

정하고, 실제증발산량은 Zahner(1967)가 제안한 토양수분을 고려한 방법을 적용한다. 지표면유출은 유출기여면적 개념에 의해 산정되며 선행토양수분과 강우량의 선형 혹은 비선형관계로부터 산정된다. 지표하유출(중간유출)은 지표하 저류층으로부터 저류량의 선형 혹은 비선형함수에 의해 계산되며 지하수유출은 지하수 저류층으로부터 저류량의 선형함수에 의해 산정된다. 하도에서의 흐름추적은 단기 유출에 한하여 선형저수지추적 방법과 수정-펄스 추적방법에 의해 수행되어진다.

모형의 입력자료는 일 강우량, 최대/최저 기온, 태양복사량, 유역특성인자(지형, 토양, 식생, 지질, 기후) 등으로 구성되며 모형의 출력자료는 유출량, 물수지 구성성분, 유출수문곡선, 유사량 모의곡선 등의 형태로 제공된다. PRMS모형의 특징으로는 용설유출 모의 및 다양한 기후와 지형에서 적용이 가능하고, GIS와 연계된 MMS(Modular Modeling System)의 이용과 하천유량 예측으로의 확장(Ensemble Streamflow Prediction, ESP)기능을 포함하고 있다. 현재 PRMS 모형은 미국 지질조사국에서 유역의 수문반응평가 및 유출분석에 활용되고 있다. 하지만 하도에서 유사량 이동 및 화학물질의 거동에 대한 기능은 포함되어 있지 않다. 표 1은 PRMS모형의 구성성분을 나타낸 것이다.

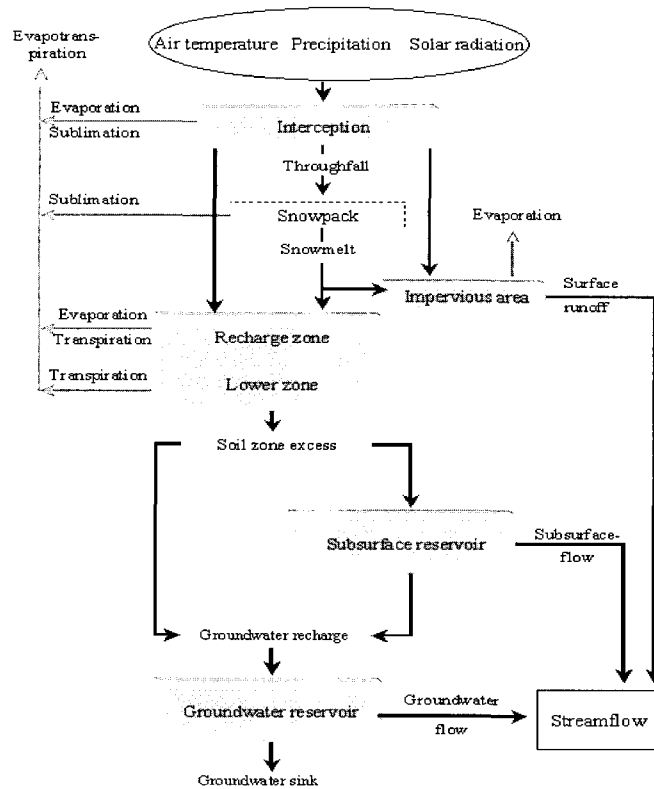


그림 1. PRMS 모형의 구성도(김남원, 2002)

표 1. PRMS 모형의 구성

성분	내 용
강우	- 지점우량 (지점 일 우량에 수문반응단위별 보정계수를 적용)
차단	- 식생피복밀도와 수문반응단위의 저류가능량 함수
증발산	- Pan Evaporation, 월 단위의 보정 계수 - Hamon 방법 - 수정 Jensen-Haise 방법 - Zahner method(토양수분의 함수)
유출	- 투수구역에 대한 유출은 유출기여 면적 개념을 이용 (토양의 선형함수비와 강우의 총량의 함수)한 선형·비선형 함수로 산정 - 불투수구역의 유출은 일 총강우량을 이용 - 선형·비선형 저류함수 - Groundwater Sink는 지하수 저류함수와 선형 추적계수로 계산 - 저류층은 차단저류, 불투수층저류, 하층저류, 지표하저류, 지하수저류 등의 5개로 구성
유출추적	- 선형저류방정식 - Modified-Plus Routing
매개변수 최적화	- Rosenbrock method - Hyper-tunnel method
토지이용변화	- 수문 반응단위(HRU)별로 토지이용변화에 대한 모의 가능
GIS/RS	- Weasel(Arc/Info)
비 고	- 공개모형 - 유역을 소유역으로 구분하고, 구분된 소유역을 경사, 주향, 표고, 토지이용, 토양형태, 식생 등에 따라 수문반응 단위유역(HRU)으로 다시 세분화 - UNIX 기반

### 2.3 MMS 모형의 내용

MMS의 모형은 크게 3가지로 전처리, 모의 그리고 후처리로 구성되어 있으며 그 성분은 그림 2와 같다. MMS의 전처리 과정은 모형의 구동시 필수적인 입력 자료의 준비 및 분석, 공간적·연속적인 데이터 처리 등에 관련된 일련의 과정을 포함하고 있으며 이러한 작업을 진행하기 위한 지원도구로서 OUI(Object User Interface)와 GIS Weasel이 있다. OUI로 적용유역의 수치지형도(DEM, Digital Elevation Model)를 유역별로 구분하여 생성하고, GIS Weasel은 적용유역의 수치지형도, 토양도, 식생도, 식생밀도도, 토지이용도 등을 사

용하여 지형인자와 관련된 입력매개변수자료를 산정한다. MMS의 모의과정은 모형의 개발 및 적용을 위한 과정으로서 모듈라이브러리를 사용하여 모듈형 모형을 개발하고 이를 실행파일로 변환하여 적용유역의 장기유출을 적용하는 과정으로 PRMS모형이 적용되는 부분이다. MMS의 후처리과정은 최적의 결과 도출 및 분석을 위한 과정으로 모형의 민감도 분석과 최적화 과정 그리고 적용 자료기간 이후의 장기유출예측 기능을 포함하고 있다.

Xmbuild로 생성된 PRMS의 모형은 15개의 모듈로 구성되어지며 각 모듈의 연결 관계로 연산되며 결과는 사용자의 선택에 따라 출력 매개변수를 선택할 수 있다.

The Modular Modeling System (MMS)

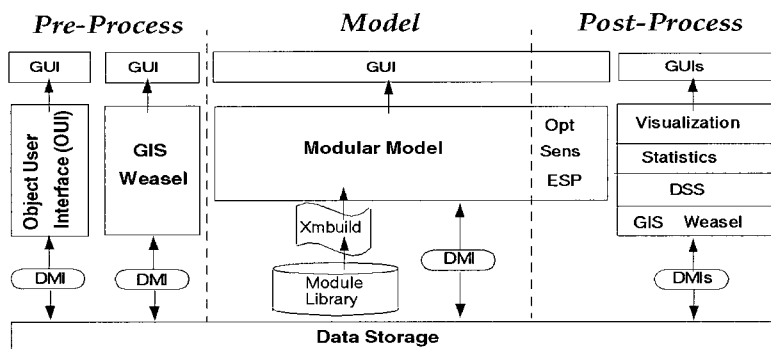


그림 2. MMS의 구성요소

## 2.4 GIS Weasel을 이용한 자료구축

MMS의 전처리과정으로 GIS Weasel을 이용하여 지형입력자료를 구축하는 것이 요구된다. 국내의 경우 입력자료로는 30m 격자크기의 토양도, 식생도, 식생밀도도, 토지이용도 등이 주로 이용된다. 따라서, PRMS의 국내 적용시에는 지형입력자료의 형식을 GIS Weasel 형식으로 변환해 주어야 한다. 토양도의 경우 국내의 토양기호를 미국 지질조사국에서 적용하고 있는 STATSGO(State Soil Geographic Data Base) 방식으로 변환 후 입력하는 것이 필요하다.

## 3. 모형의 적용 및 결과

### 3.1 적용구역 및 자료

PRMS 모형을 검토하기 위해서 본 연구에서는 용담댐 유역을 적용구역으로 선정하였다. 용담댐 유역은 금강유역내에 있으며, 전라북도 장수군, 무주군과 진안군을 포함하고 있으며 동경 127°20', 북위 36°00'으로 930.4 km<sup>2</sup>의 유역면적을 가지고 있으며, 현재 21세기 프론티어 사업의 시험유역으로 선정되어 한국수자원공사에서 양질의 수문자료를 구축 중에 있다. 용담댐 유역의 개황도는 그림 3과 같다.

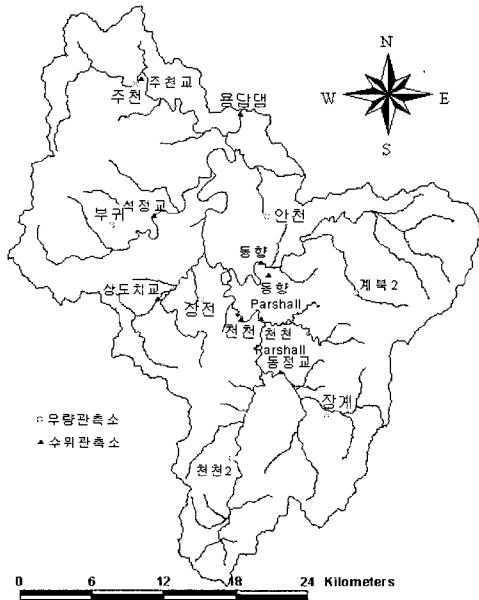


그림 3. 용담댐 유역의 개황도

현재 용담댐 유역의 수문자료는 7개소의 우량관측소에서 시간우량 및 일우량을 측정하고 있으며, 8개 수위관측소에서 시간수위, 일수위를 측정하고 있으나 자료의 기록보유기간이 2년 미만으로 장기 강우-유출관계를

를 해석하기에는 미흡한 점이 있어 본 연구에서는 용담수위표지점을 중심으로 1987~1997년까지의 자료를 적용하였다. 모형의 적용에 앞서 용담수위표지점의 연유출량을 미리 산정하여 유출자료의 유용성에 따른 적용가능년도를 선정하여 적용하였다. 년 유출을 산정시 유출량을 용담수위표지점을 적용하였으며 강우는 진안, 장수, 계북(이상 한국수자원공사 강우관측소)와 원통사, 안성장, 진안, 대불, 장수(이상 건설교통부 강우관측소)의 자료를 산술평균하여 적용하였고 기상자료는 기상청 관측소 거창, 장수, 임실, 전주, 금산의 자료를 산술평균하여 적용하였다.

앞서 설명한 MMS 전처리과정에서 GIS Weasel을 이용하여 변환한 토양도, 식생도, 식생밀도도, 토지이용도는 각각 그림 4 ~ 7과 같다. 여기서 사용한 토양도, 토지이용도 등의 기초자료는 장철희 등(2003)과 같다.

다음 표 2는 용담수위표지점의 연유출율을 산정한 결과이다. 유출율이 100%를 초과하는 1987년 자료는 모형의 적용에서 제외하였다.

### 3.2 소유역 및 HRU 수에 따른 유출량 변화

PRMS 모형은 무엇보다도 여러개의 소유역 분할과 HRU라는 소유역내 동질한 수문응답으로 공간적인 분할을 이루고 있는 것이 특징이다. 따라서, 국내의 적용성을 검토하기 앞서 PRMS의 공간적인 성질을 대변하고 있는 소유역 및 HRU의 특징 및 민감도를 검토하는 것이 요구된다. 이를 위해서 용담댐 유역의 용담수위표지점에서의 전처리 과정을 거친 PRMS의 모형을 여러 가지 소유역 및 HRU 시나리오에 따라 유출을 모의한 후, 이 모의치와 표 2의 관측치를 비교하는 형태로 그 특성을 검토하였다. 따라서 PRMS 적용시 매개변수의 조정없이 동일한 조건에서 소유역의 분할 및 HRU 수에 따른 유출특성을 조사하였다.

PRMS의 소유역은 하천망의 조건으로 분할되어지는데, 하천망의 형성시 Threshold의 조정으로 하천망의 조건을 다르게 할 수 있다. 본 연구에서 적용한 30m 격자단위의 수치지형도를 사용하였고, 하천망 형성시 Threshold의 격자 개수를 (30m격자) 6,000개에서 200,000개로 점차 늘려 21가지의 하천망을 형성하여 21개의 경우로 소유역을 분할하였다.

아래의 표 3과 같이 하천망의 격자개수를 점차 늘려갈수록 소유역의 분할 수가 증가하였으며, 21가지 경우에 대하여 GIS Weasel을 이용하여 입력매개변수를 설정하여 PRMS에 적용하여 그 결과를 실측자료와 비교하였다. 실측자료와 모의자료를 이용하여 평균제곱근오차(RMSE)를 산정하였으며, 그림 8은 그 결과를 도시한 것이다.

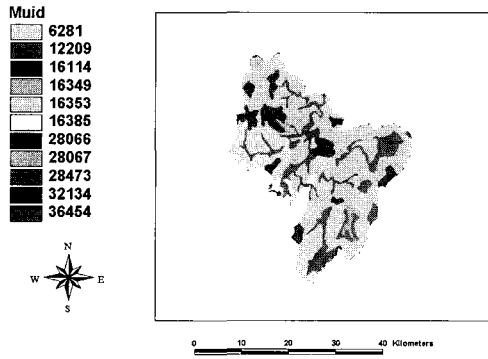


그림 4. 용담댐유역의 토양도

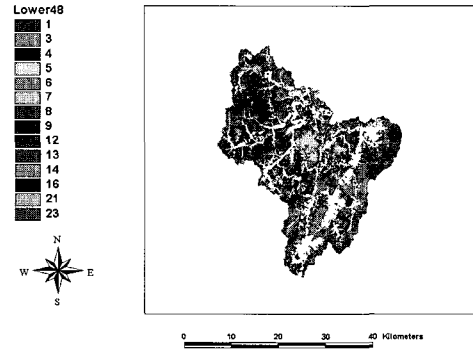


그림 5. 용담댐유역의 식생도

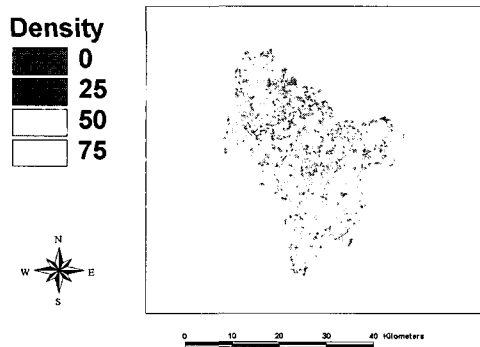


그림 6. 용담댐유역의 식생밀도도

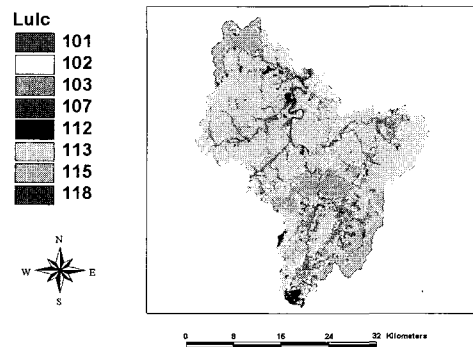


그림 7. 용담댐유역의 토지이용도

표 2. 용담수위표 지점의 년 유출율

날짜	강우(mm)	유출(mm)	유출율(%)
1987	1236.3	1544.5	124.9
1988	978.9	677.5	69.2
1989	1562.8	1313.6	84.1
1990	1519.8	1196.7	78.7
1991	1328.0	1205.7	90.8
1992	1088.2	725.6	66.7
1993	1213.7	1171.2	96.5
1994	799.0	400.8	50.2
1995	1075.7	602.2	56.0
1996	1144.1	697.9	61.0

표 3. 하천망 격자에 따른 소유역 분할

Threshold	200,000	190,000	180,000	170,000	160,000	150,000	140,000	130,000	120,000	110,000
소유역 개수	2	6	5	6	6	12	12	16	20	20
Threshold	100,000	90,000	80,000	70,000	60,000	50,000	40,000	30,000	20,000	10,000
소유역 개수	38	24	24	38	24	30	38	47	71	115

그림 8에서의 결과를 살펴보면 소유역분할로 인한 유출특성의 변화는 크지 않은 것으로 판단된다. 용담댐 유역의 경우 연도별 평균제곱근오차의 값을 살펴보면

소유역의 분할은 30m의 격자망을 사용하였을 경우 10,000개 이하의 격자로 Threshold를 지정하여 100개 이상의 소유역으로 분할하여 적용하였을 경우 평균제곱

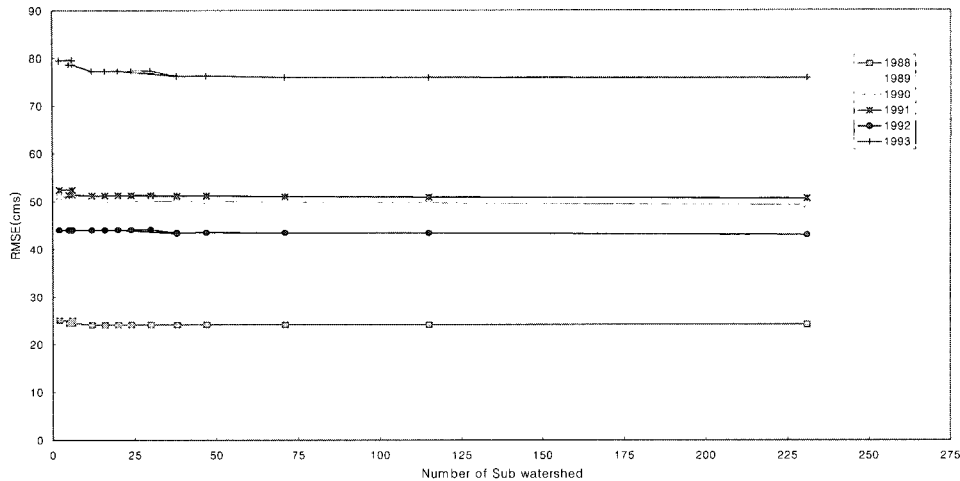


그림 8. 소유역개수의 변화에 따른 평균제곱근오차

근 오차가 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 PRMS의 적용시 사용자가 지정해주어야 하는 하천망 형성과 소유역의 분할로 인한 유출량에서 발생할 수 있는 오차의 차이가 근소함을 증명해주고 있다. 따라서 이 모형의 소유역 분할은 큰 유출제한상에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 물론, 소유역 개수로 인한 유출변화의 결과는 극히 미소하지만 소유역의 개수를 115개 이하에서는 유출에 약간의 변화가 발생하는 것으로 판단되어, 후술할 HRU 수에 따른 유출변화 검토를 위해서 용담댐유역의 소유역 개수는 115개로 지정하였다.

분포형의 특성을 대변하는 HRU에 따른 유출변화를 조사하는 것이 매우 중요하다. 따라서, 30m 격자망을 이용한 하천망의 생성으로 115개의 소유역으로 분할 후, 각 소유역의 HRU를 78개에서 300개까지 형성하여 입력매개변수를 산정 후 유출특성을 조사하였다. 이때, 일부 HRU의 개수가 소유역의 개수보다 적어지는 현상이 나타나게 된다. 이것은 소유역으로 분할된 Arcinfo 파일위에 토양도, 식생도, 식생밀도도, 토지이용도를 중첩한 후 이로 발생하는 교차점을 HRU로 생성하게 되는데 HRU개수를 임의로 제한하는데서 비롯된다. 용담댐유역의 경우 11,059개의 HRU가 생성되어 PRMS내의 HRU개수의 제한사항인 300개를 초과하게 된다. 따라서 사용자가 임의로 지정한 면적이하의 주변의 HRU로 병합을 시켜주어야 하는데 면적의 단위를 셀 1,000개부터 335개까지로 지정하였기 때문에 소유역 개수보다 HRU

개수가 작아지는 현상이 발생한다.

표 4는 하천망 발생시 Threshold의 격자크기의 변화를 주어 생성되는 HRU의 개수를 나타낸 것이다. 이와 같은 8가지 경우에 대하여 유출량을 모의하여 그 결과를 살펴보았다. 표 4의 8가지 경우에 대하여 PRMS를 구동한 후 그 결과에 대한 평균제곱근오차(RMSE)를 중심으로 그림 9와 같이 도시하였다.

위의 그림 9의 결과를 살펴보면 앞서 분석한 소유역 분할에 따른 유출의 변화와 마찬가지로 HRU의 개수의 증가에 유출량의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 물론 HRU가 증가함에 따라 약간의 오차가 감소하기는 하지만 이러한 차이는 사실상 유출변화에 큰 의미가 없다. 물론, 소유역과 HRU 차이에서 알아본 바와 같이 입력격자크기가 자세하게 분류되어 있어도 PRMS모형의 적용시 지형입력자료가 3~4가지로 재분류되어 입력됨에 따라 HRU별 유출특성이 변하지 않을 수도 있으나 충분히 고찰하지 못하였다.

이상의 분석을 통하여 볼 때, PRMS모형은 분포형적인 성질을 모형내에서 갖추고 있으나 실제로 소유역의 분할이나 HRU의 증감의 형태에 따라 유출량의 변화가 거의 없는 것으로 보아 준분포형의 모의가능성은 적절치 않은 것으로 사려된다. 더욱이 준분포형의 성질을 충분히 대변하려면 계산하고자 하는 유역내에 특정소유역의 유출을 모사할 수 있어야 하는데, 이것이 여의치 않기 때문에 분포형적인 성격은 더욱 모호하다고 할 수 있다.

표 4. Threshold의 격자크기에 따른 HRU 개수의 변화

Threshold	1000	900	800	700	600	500	400	335
HRU	63	76	76	108	131	175	231	297

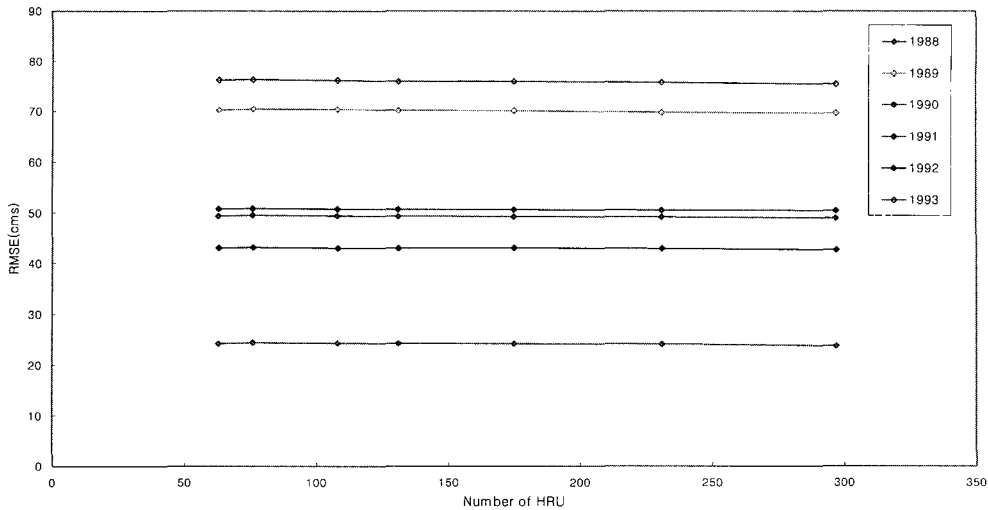


그림 9. HRU개수의 변화에 따른 평균제곱근오차

### 3.3 모형의 적용성 평가

유역의 최말단부에서 유출모의 능력을 검토하여 PRMS모형의 적용성을 시도하였다. 본 연구에서는 매개변수 최적화 과정의 입력매개변수 개수가 300개 이하로 설정되어 있고, 또한 HRU의 민감도 분석에서 살펴본 유출량의 변화도 175개 이하에서 크게 변화가 없는 것으로 판단되어 용담댐 유역의 HRU를 175개로 설정하였다. Threshold의 셀 격자수를 10,000개로 지정하여 하천망을 형성하여 그림 10과 같이 소유역을 하천의 좌안과 우안으로 구별하여 생성하였다. 이후 토양도, 식생도, 식생밀도도, 토지이용도 등을 중첩하여 적용유역을 HRU단위로 세분화하고 Threshold 500의 최소면적으로 HRU를 재산정한 결과는 그림 11과 같다.

그림 11과 같이 산정된 HRU에 대한 지형입력자료와 수문시계열자료를 입력하여 PRMS 모형을 모의하였다.

모의된 결과는 실측 자료와 비교하여 매개변수 최적화를 실행하였으며 PRMS에 내장되어 있는 최적화기법을 사용하였다. 관측유량과 모의유량을 일치시키기 위하여 매개변수의 자동보정을 실시하였다. PRMS 모형에는 많은 매개변수들이 포함되어 있지만 그것들 모두를 최적화하는 것은 크게 의미가 없으므로 PRMS모형의 이론적 오차를 발생시킬 수 있는 증발산량과 지표하 흐름, 토양수분에 관한 주요 매개변수에 대하여 최적화를 실시하였다. 내장된 최적화기능의 방법은 Hyper-tunnel방법과 Rosenbrock방법의 2가지 기능을 포함하고 있으나, 본 연구에서는 Rosenbrock방법을 사용하였다. 목적함수로 절대오차를 지정하고 1989년부터 1990년까지의 기간을 최적화 기간으로 선정하여 최적화 과정을 수행하였다. 그 결과는 다음 그림 12와 같다. 그림 12는 최적화 결과로 최적화 구간은 홍수기를 제외한 평수기와 갈수기로 지정하여 실행하였다. 따라서 홍수기의 최대



그림 10. 소유역분할모습

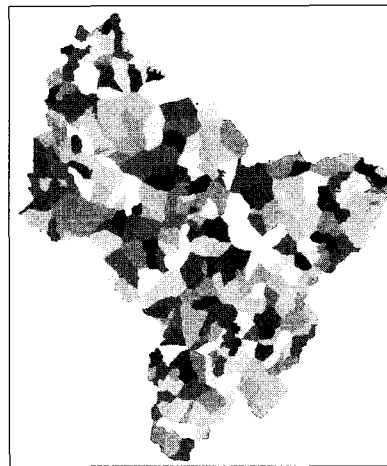


그림 11. 재산정된 HRU



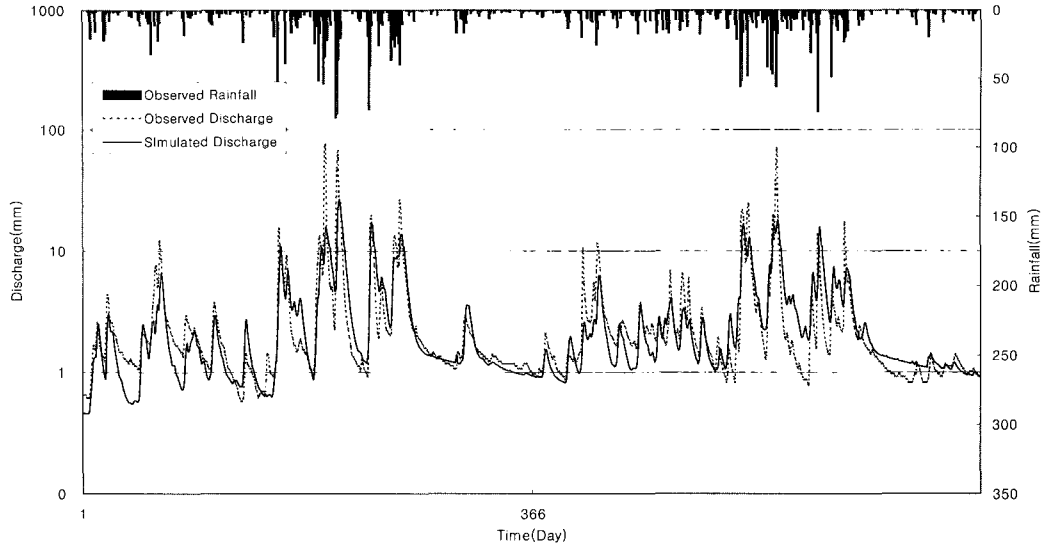


그림 12. PRMS의 매개변수 최적화결과 (1989년~1990년)

유량에서 차이를 보이고 있지만 갈수기의 경우에는 비교적 유사하게 모의가 되고 있음을 알 수 있다. 위와 같이 실행된 최적화 과정을 통하여 산정된 매개변수를 이용하여 매개변수를 수정한 후 1988년부터 1993년에 걸쳐 용담댐 유역의 유출량을 모의하였다.

아래의 그림 13은 1988년부터 1993년까지의 실측유량과 PRMS의 모의 결과값을 비교한 것으로 전반적으로 잘 일치하고 있는 것으로 나타났지만, 최적화과정에서 고려한 대로 홍수기의 유량을 충분히 모사하지 못하고 있을 뿐만 아니라 갈수기에도 일부분은 적절히 모사하지 못하고 있다. 이것은 모형에서 표현하지 못한 부분도 있지만, 수위-유량환산곡선 또는 수위자료의 오류

등에서 그 원인을 찾을 수 있다. 본 연구에서는 한국수문조사연보에 제시된 1987년의 용담댐 수위표의 수위-유량곡선을 1990년대까지 연장하여 적용하고 있다.

아래의 그림 14는 1989~1990년 구간의 자료를 이용하여 최적화 실행후의 모의값과 실측값을 비교한 결과이고, 그림 15는 최적화 후 수정된 매개변수를 이용하여 1988년과 1993년 구간에 대하여 모의를 실시하였다. 다음 표 5는 최적화 전후의 RMSE를 비교한 결과이다.

아래의 결과는 홍수기를 포함한 기간동안 최적화 전후의 RMSE와 홍수기(7~9월)를 제외한 기간 최적화 전후의 RMSE를 비교한 것이다. 홍수기의 최대유량부에서 발생하는 RMSE의 차이로 인하여 홍수기를 포

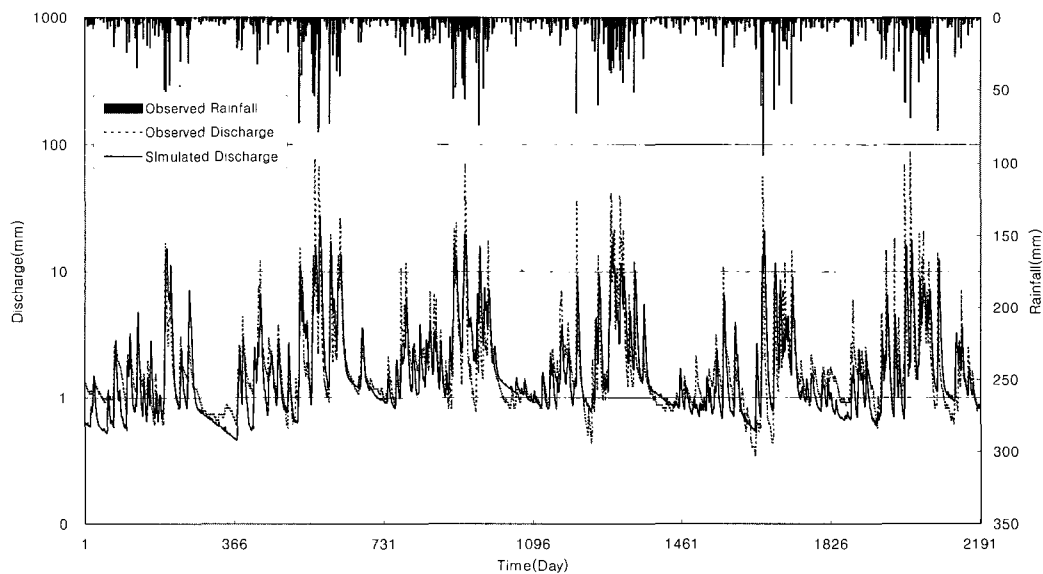


그림 13. PRMS 모형의 모의결과 (1988년~1993년)

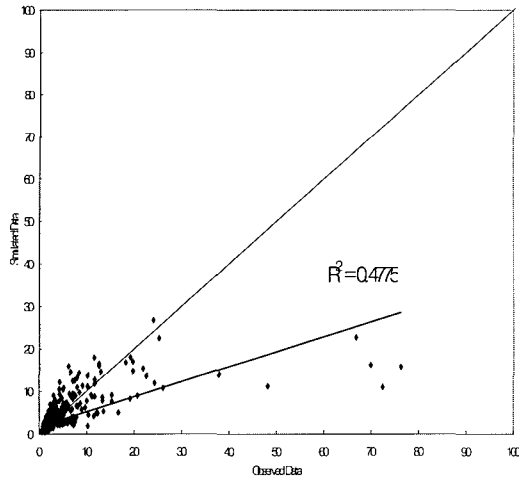


그림 14. 최적화 결과비교 (1989~1990년)

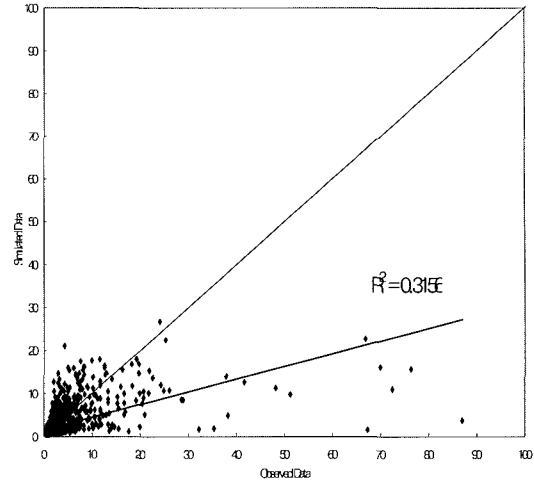


그림 15. 모의값 결과비교 (1988~1993년)

표 5. 최적화 전후의 RMSE 비교

년도	RMSE (단위 : mm/day)			증감(홍수기제외)
	최적화전	최적화후		
		전체	홍수기제외	
1988	1.89	1.36	0.49	-0.53(-1.40)
1989	5.28	5.75	1.40	+0.47(-3.88)
1990	3.86	3.70	2.09	-0.16(-1.61)
1991	3.75	4.02	2.48	+0.27(-1.27)
1992	3.24	3.13	0.77	-0.11(-2.36)
1993	5.60	6.41	4.28	+0.81(-2.13)

표 6. 모의와 관측유출량의 비교

년도	강우	증발산	저류	모의유출(유출율)	관측유출(유출율)
	(mm)	(mm)	(mm)	mm (%)	mm (%)
1988	978.9	384.5	333.7	615.5 (62.9)	677.5 (69.2)
1989	1562.8	378.4	458.7	1059.7 (67.8)	1313.6 (84.1)
1990	1519.8	392.0	465.0	1121.2 (73.8)	1196.7 (78.7)
1991	1328.0	379.8	444.8	965.5 (72.7)	1205.7 (90.8)
1992	1088.2	377.5	393.4	752.1 (69.1)	725.6 (66.7)
1993	1213.7	364.9	391.4	862.3 (71.0)	1171.2 (96.5)

합한 전 기간 동안 최적화 전후의 RMSE의 차이는 크게 발생하지 않았지만, 평수기와 갈수기(7~9월제외)를 대상으로 최적화를 실행한 결과 RMSE가 감소하여 실측유출량과 유사하게 모의가 되고 있음을 알 수 있다. 다음 표 6에서 저류값은 증발산과 지표면 유출을 제외한 값으로 차단 저류량, 지하수 흐름량, 지표하 흐름량 등을 포함한 값을 표현하고 있으며, 비교적 관측유출을 잘 모사하고 있음을 알 수 있다. 따라서 용담댐 유역의 PRMS 모의결과 년단위 물수지는 관측치를 아주 잘 표현하고 있음을 알 수 있으며, 전반적으로 유출거동을 잘 모사하고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 미국 지질조사국에서 개발한 PRMS를 용담댐유역에 적용하여, 모형의 공간적인 성질과 적용성을 검증하였다. PRMS모형의 국내유역 적용은 USGS 형식의 지형입력자료가 구축이 되지 않은 상태로 인하여 입력자료 산정에 제약이 있는 형편이다. 그러나 현재의 가용자료를 이용하여 용담댐 유역에 적용한 결과 장기유출모형으로의 적용성은 상당히 높은 것으로 나타났으며, 특히 PRMS모형에 내장된 최적화 프로그램을 적용하면 그 적용성을 더욱 향상시킬 수 있는 것으로 판단된다.

또한 용담댐 유역의 소유역과 HRU 설정 개수의 변화를 주어 소유역과 HRU의 변화로 인한 유출량의 변화를 조사하였으나 유출량의 변화는 크게 발생하지 않았다. 소유역의 개수와 HRU의 개수가 증가할수록 일정하게 수렴하는 경향은 있으나 그 영향 또한 미미하여, PRMS모형에서 HRU에 대한 민감도는 없는 것으로 판단되었다. 이와 같은 이유는 입력지형자료의 속성 및 PRMS모형에서 지형입력자료의 재분류 등에도 원인이 있지만, 모형 자체가 준분포형의 성질을 대변한다기 보다는 집중형 모형의 성질을 대변하고 있다는 것임을 나타내고 있다.

향후 신뢰성 있는 수문자료의 수집과 PRMS의 내부 알고리즘 중 미국 유역의 경험식으로 산정된 부분을 국내유역의 특성에 맞게 수정하는 한편, 소유역의 유출량을 산정할 수 있도록 모형을 변화한다면 좀 더 신뢰성 높은 장기유출모형으로 자리매김 할 수 있을 것이다. 더욱이 PRMS모형의 최적화 과정에 따른 매개변수의 변화를 조사하여 매개변수별 민감도 분석이 충분히 고찰된다면, 국내유역의 적용성을 더욱 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호: 2-2-1)에 의해 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

### 참고 문헌

강경석 (2002). "SCE-UA 및 GA알고리즘을 이용한 NWS-PC 모형의 매개변수 추정", **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회 제1권, pp. 128-133.

건설교통부 (2000). 한국수문조사연보(수위편, 우량편).

김남원 (2002). 지표수 수문성분 해석기술개발 연구보고서(과제번호 2-2-1), 수자원의 지속적 확보기술개발사업단, 한국건설기술연구원.

구혜진, 전경수, 오윤근, 성영두 (2003). "PRMS 모형의 피산댐유역과 충주댐유역의 적용", **한국수자원학회 2003 학술발표회논문집(2)**, 한국수자원학회, pp. 631-634.

구혜진, 전경수, 오윤근, 성영두 (2003). "PRMS 모형의 매개변수 추정", **한국수자원학회 2003 학술발표회**

**논문집(2)**, 한국수자원학회, pp. 635-638.

김철, 김석규 (2002). "PRMS을 이용한 도시화에 의한 수문영향 평가", **한국수자원학회 학술발표회 논문집(1)**, 한국수자원학회 2002.05, pp. 123-127.

김태철, 노재경, 박승기 (1991). "유역 토양 수분 추적에 의한 유출 모형." **한국농공학회지**, 한국농공학회, 제33권, 제4호, pp. 61-72.

김현준, 정성원, 김승 (1993). "다중감수 수문모형의 개발." **수공학연구발표회논문집**, 한국건설기술연구원, pp. 327-334.

정일원, 배덕효 (2003). "PRMS 모형의 국내 적용성 검토에 관한 연구." **한국수자원학회 2003 학술발표회 논문집(2)**, 한국수자원학회, pp. 639-642.

김현준 (2002). "장기 강우-유출 모형의 비교", **한국수자원학회지**, Vol. 36, No.3, 학술기사.

장철희, 김현준, 김남원 (2003). "용담댐 유역의 장기-유출분석을 위한 AVSWAT 2000모형의 적용", **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 46-49.

임혁지, 권형중, 장철희, 김성준 (2004). "SLURP 모형을 이용한 유출수문분석 -소양강댐 유역을 대상으로-", **한국수자원학회 논문집**, 제7권, 제8호, pp. 631-641.

Leavesley, G. H. and Stannard, L. G. (1995). "The Precipitation-Runoff Model System - PRMS", In Singh, V.P. (Ed.), *Computer models of watershed hydrology*, Water Resources Publications, pp. 281-310.

Leavesley, G. H., Lichty, R. W., Troutman, B. M., and Saindon, L. G. (1983). *Precipitation-runoff modeling system-User's manual*, U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 83-4238.

Singh, V. J. (1989). *Hydrologic systems-Watershed modeling*, Prentice-Hall, pp. 246-254.

Zahner, R. (1967). Refinement in empirical functions for realistic soil-moisture regimes under forest cover, in Sopper, W. E., and Lull, H. W., eds., *International Symposium of Forest Hydrology*: New York, Pergamon Press, p. 261-274.

(논문번호:04-49/접수:2004.05.04/심사완료:2005.01.31)