

PRMS 모형의 매개변수 추정

○ 구혜진¹⁾ · 전경수²⁾ · 오윤근³⁾ · 성영두⁴⁾

1. 서 론

유역 수문 모형은 강수-유출 현상에서 물 순환의 거동을 여러 가지 수학적 수식으로 나타내고, 모형상의 매개변수들을 조정하여 실제 유출 현상과 일치시키는 확정론적 모형(Deterministic Model)이 많다. 확정론적 모형은 매개변수의 공간적 변이를 고려하지 않는 집체모형(Lumped Model)과 이를 고려하는 분포모형(Distributed Model)으로 구분된다. 분포모형은 유역의 토양유형, 지형 및 식생자료와 기상자료 등으로부터 공간적으로 변화하는 매개변수값을 미리 추정함으로써, 관측유출량과 비교하여 매개변수를 추정하지 않고도 유출량을 모의 발생할 수 있다. 본 연구에서는 장기유출해석모형으로 미국 지질조사국(US Geological Survey, 1983)에서 개발한 모형으로서 유역의 토지이용, 홍수첨두량, 토양 유출관계, 지하수 함양율 등 다양한 결합의 효과를 평가하기 위해 개발된 PRMS모형을 선정하였다. 유역의 신뢰성을 있는 장기유출해석을 하기 위해, 유출해석에 필요한 자료들이 신뢰성을 가져야 하므로 유역의 수치표고모형, 토양도, 식생도 등의 자료를 이용하여 매개변수를 추출하였다. 그러나 자료의 빈곤으로 모형의 매개변수를 모두 추출할 수 없으므로 계측유역에 대해 모형의 보정을 수행하여 매개변수를 추정하여야 한다. 본 연구는 모형의 보정에 사용될 매개변수를 선택하기 위한 연구이다.

2. PRMS 모형

PRMS 모형은 미국 지질조사국(US Geological Survey, 1983)에서 개발한 모형으로서 유역의 토지이용, 홍수첨두량, 토양 유출관계, 지하수 함양율 등 다양한 결합의 효과를 평가하기 위해 개발된 모형이다. 모형은 대상유역을 수문응답단위(Hydrologic Response Unit, HRU)로 구분하고, 각 수문응답단위 별로 물수지와 에너지수지를 계산한다. 수문응답단위는 경사, 경사향, 식생 유형, 토지 유형과 강수분포와 같은 유역 특성을 기초로 유역을 구분한 것이며, 각 단위는 수문응답에 대해 동질한 것으로 가정된다. 각 수문응답단위에서 나타난 수문응답의 합은 유역의 일별 하천유량과 시스템반응이 된다. PRMS 모형은 일유출모의 모드(Daily Mode)와 홍수유출모의 모드(Storm Mode)로 구별되며, 일유출모의 모드는 일 단위의 강수자료로부터 유출을 계산하고, 홍수유출모의 모드는 시간 단위 정도의 강수자료로부터 유출을 계산한다. 본 연구에서는 일유출모의 모드를 수행하였다. PRMS모형의 기본적인 수문 모델은 다음과 같다

$$Q = P - ET \pm S$$

여기서, Q는 유출량, P는 강수량이며, ET는 증발산량, S는 차단, 적설, 불투수층의 지표저류량, 토양수분량, 지표하저수지, 지하수저수지에 의한 저류량이다.

3. 모형의 구성

3.1 대상유역 및 소유역 분할

-
- 1) 성균관대학교 토목환경공학과 대학원
 - 2) 성균관대학교 토목환경공학과 부교수
 - 3) 유신코퍼레이션 수자원부 이사
 - 4) 한국수자원공사 조사기획처 유역조사부 부장

본 연구에서는 괴산댐유역과 충주댐유역을 대상으로 민감도분석을 수행하였다. PRMS 모형 적용시 대상 유역은 둥절한 수문응답단위로 구분되어야 하며, 본 연구에서 유역분할은 한강유역조사 사업에서 수행된 유역분할 기준을 사용하였다.

3.2 모형의 매개변수 산정

수치표고모형, 토양도 및 식생도의 자료를 수집하고 GIS 툴을 사용하여 매개변수 추정하였다. 수치표고 모형으로부터 유역의 면적, 표고, 경사 및 경사향 등을 산정하고 경사 및 경사향에 따라 최고·최소 기온조절계수를 결정할 수 있다. 토양도로부터 유역의 토양유형과 토양유형에 따른 토양수분량과 토양대의 최대수분량을 계산할 수 있다. 식생도로부터 유역의 식생유형과 식생유형에 따른 식생근입깊이, 여름과 겨울의 식생밀도, 식생에 의한 강수차단량을 결정할 수 있다. 함양대의 최대수분량은 식생근입깊이의 최소값과 토양수분량의 곱으로 계산되며, 적설이 쌓여있는 지표의 식생덮개에 대한 전달계수는 겨울식생밀도의 함수로 계산된다. 여기서 토양도와 식생도에서 분류된 토양유형, 토양심도와 식생유형은 모형에서 요구하는 분류기준으로 재분류 되어야 한다.

3.3 수문·기상 자료의 수집 및 정리

괴산댐유역의 경우 1982년~2000년, 충주댐유역의 경우 1986년~2000년의 관측유출자료를 모형의 보정 및 검증에 사용하였다. PRMS 모형의 적용을 위해 최소로 요구되는 자료는 강수자료, 일 최고·최저기온자료이다. 관측 자료로부터 잠재증발산 계산하는 방법의 경우 기상 관측소의 팬증발량자료를 사용하기도 한다. 강수자료로는 유역의 티센면적강우를 사용하였고, 충주 기상관측소의 일 최고·최저기온 및 팬 증발량 자료를 이용하였다.

4. 매개변수에 대한 민감도 분석

4.1 총 유출량의 민감도

모형의 보정을 위한 매개변수를 선정하기 위하여 매개변수의 민감도를 분석하였다. 괴산댐유역을 대상으로 태양복사량은 도일계수와 최고기온의 관계를 이용하는 방법, 잠재증발산은 Jensen과 Haise방법을 선택하여 1982년~2000년 동안의 유출량을 모의하였다. 유출모의에 사용되는 105개의 변수들 중 49개의 매개변수를 대상으로 민감도 수행을 하였다. 불투수층의 비율(R_{im})과 불투수층의 저류량(S_{im})을 나타내는 변수를 제외하고 각 매개변수들에 대하여 독립적으로 민감도를 조사하였다. 매개변수의 범위는 모형에서 제시하는 값을 사용하였다. 민감도는 해당 매개변수가 상한값을 갖는 경우 계산된 총 유출량과 하한값을 갖는 경우 계산된 총 유출량과의 차를 중간값 혹은 디폴트값을 갖는 경우 계산된 총 유출량으로 나눈 무차원 값이다. 유출모의 전체기간의 총 유출량의 민감도 분석 결과는 표 5에 제시하였다. 총 유출량의 민감도가 높은 매개변수들은 태양복사량 및 잠재증발산을 계산에 사용되는 계수들(D_a , D_b , C_T , T_x) 등으로 나타났다. 불투수층과 관련된 변수들도 큰 민감도를 가지고 있지만, 이는 불투수층 비율이 높을 때이다.

4.2 태양복사량 및 잠재증발산 계산방법에 따른 민감도

태양복사량을 계산하는 방법은 도일계수와 최고기온의 관계를 이용하는 방법과 운량밀도와 최고·최저기온 차의 관계를 이용하는 방법이 있다. 잠재증발산을 계산하는 방법은 팬증발량 자료를 이용하는 방법, Hamon방법 및 Jensen과 Haise방법이 있다. 다른 매개변수들을 고정하고 각 방법에서 사용되는 매개변수들에 대한 민감도를 조사하였으며, 그 결과는 표 6에 제시하였다. 민감도 조사 결과 증발량을 팬증발량 자료를 이용하는 방법과 Hamon방법으로 계산하는 경우, 태양복사량 계산에 사용되는 변수들에 대한 민감도가 낮았다. 반면 증발량을 Jensen과 Haise방법으로 계산하는 경우, 태양복사량 계산에 사용되는 변수들에 대한 민감도가 높았다.

표 6. 태양복사량 및 잠재증발산 계산방

법에 따른 총 유출량의 민감도 분석

표 5. 총 유출량의 민감도 분석 결과

제수명	민감도 분석에 사용된 계수값			민감도	제수명	민감도 분석에 사용된 계수값			민감도
	하한값	중앙값	상한값			하한값	중앙값	상한값	
C_{rad}	0	1	3	-0.003	C_{rad}	0	0.5	1	-0.048
R_{ds}	0	0.8	1	0.001	C_{rad}	0	0.5	1	0.000
R_{em}	0	0.6	1	0.000	C_{rad}	0	0.44	1	-0.023
S_{ns}	0.001	0.05	1	0.000	C_{rad}	0	0.5	1	0.000
S_{nm}	0.001	0.2	1	0.000	R_{rad}	0.1	0.8	1	0.000
CAP_{max}	0	0.6	1	0.024	C_{rad}	0.01	0.1	0.5	0.001
c_{ec}	0	5	20	-0.004	C_{rad}	0.0001	0.01	0.1	0.292
D_{em}	0	0.5	1	-0.006	E_{rad}	0.2	0.3	0.8	0.339
D_{vis}	0	0.5	1	-0.004	E_{rad}	0	0.1	5	-0.001
D_b	-60	-10	4	-0.625	S_{max}	0	2	20	0.000
D_a	0.2	0.4	0.7	-0.526	SS_{max}	0	6	20	-0.271
ρ_{g}	0.01	0.1	0.5	0.002	SR_{max}	0	2	10	-0.064
ρ_{max}	0.1	0.6	0.8	0.001	SSG_{max}	0	2.5	5	0.000
ϵ_{g}	0.757	0.7785	1	-0.003	IS_{sr}	0	0.1	5	-0.066
K	0.2	1	3	0.007	C_{tg}	0	1	3	0.000
ω_t^d	0.01	0.05	0.2	0.001	R_{sg}	0	0.1	1	0.000
C_{rad}	0	0.015	1	0.169	C_{in}	0	0.1	1	0.000
C_{rad}	0	0.5	1	-0.087	C_{in}	0	0.1	1	0.000
S_{in} ($R_{\text{in}}=0.5$)	0	5	10	-0.380	SG_{max}	0	1	20	0.000
S_{in} ($R_{\text{in}}=1.0$)	0	5	10	-0.806	C_{max}	-10	0	10	-0.286
C_T	0.005	0.014	0.06	-1.352	a_{max}	-10	3	10	0.265
T_x	5	13	20	0.212	C_{min}	-10	0	10	-0.270
C_s	0.1	0.5	0.75	-0.005	a_{min}	-10	3	10	0.254
C_{rad}	0	0.02	0.5	-0.019	IS_{sr}	0	0.1	5	0.000
TRNCF	0	0.5	1	-0.006					

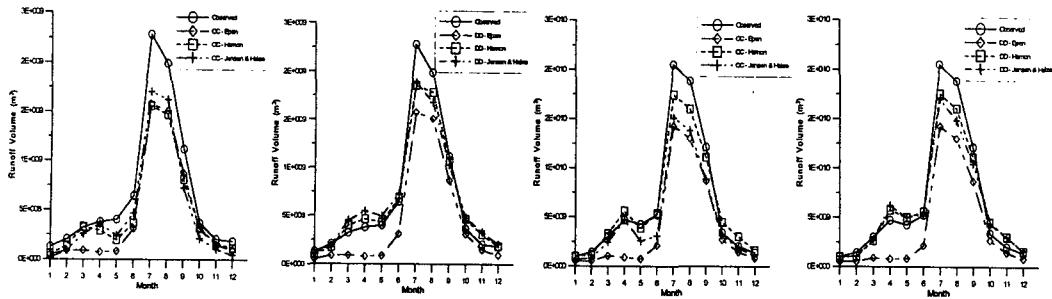
태양 복사량	잠재 증발산량	제수명	민감도에 사용한 계수값			민감도
			하한값	중앙값	상한값	
운 광 밀 도 와 최 고 · 최 저 기 온 차 의 관 계 를 이 용 하 는 방 법	펜 증 발 량	C_{rad}	0.1	0.4	0.7	0.000
		E_{rad}	0.2	0.61	0.8	0.000
		C_b	0	1.83	5	-0.001
		C_a	-0.5	-0.13	-0.01	-0.001
운 광 밀 도 와 최 고 · 최 저 기 온 차 의 관 계 를 이 용 하 는 방 법	Ham on 방 법	K	0.2	1	3	-1.859
		C_{rad}	0.1	0.4	0.7	-0.001
		E_{rad}	0.2	0.61	0.8	0.000
		C_h	0	1.83	5	0.003
		C_a	-0.5	-0.13	-0.01	0.003
		K	0.2	1	3	0.007
		C_{un}	0.004	0.0055	0.008	-0.424
		C_{rad}	0.1	0.4	0.7	-0.198
Jensen 과 Haise 방 법	Jensen 과 Haise 방 법	E_{rad}	0.2	0.61	0.8	0.064
		C_b	0	1.83	5	0.580
		C_a	-0.5	-0.13	-0.01	0.579
		K	0.2	1	3	0.009
		C_T	0.005	0.014	0.06	-0.864
		T_x	5	13	20	0.298
		D_b	-60	-10	4	0.000
		D_a	0.2	0.4	0.7	0.000
도일 계수 와 최 고 기 온 차 의 관 계 를 이 용 하 는 방 법	Ham on 방 법	K	0.2	1	3	-1.864
		D_b	-60	-10	4	-0.004
		D_a	0.2	0.4	0.7	-0.001
		K	0.2	1	3	0.000
		C_{un}	0.004	0.0055	0.008	-0.420
		D_b	-60	-10	4	-0.625
		D_a	0.2	0.4	0.7	-0.526
		K	0.2	1	3	0.007
Jensen 과 Haise 방 법	Jensen 과 Haise 방 법	C_T	0.005	0.014	0.06	-1.352
		T_x	5	13	20	0.212

5. 태양복사량 및 잠재증발산량 계산방법의 비교

태양복사량 및 잠재증발산량을 계산하는 방법에 따른 유출 모의 오차 변화를 살펴보았다. 관측자료가 있는 기간에 대해 총 유출량의 상대오차와 월별 유출량의 RMS 오차를 계산하였다. 계산방법에 따른 오차분석결과는 표 7에 주어져 있다. 표 7에서 오차가 최소값을 가지는 경우를 음영으로 표시하였다. 계산방법에 따른 월별유출량 변화는 그림 1에 도시하였다. 월별경향을 살펴보면 5월~9월의 유출량 오차가 크게 나타났으며, 특히 7월~9월의 오차가 크게 나타났다. 펜증발량을 사용하는 경우, 증발산량 계산모형을 사용하는 경우보다 오차가 크게 나타났으며 이는 지점 관측소의 펜증발량 자료를 유역의 대표 자료로 사용하는 데 따른 오차로 판단되었다. 잠재증발산량 계산모형에 따른 오차변화가 크며, 태양복사량의 계산모형에 따른 오차변화가 상대적으로 작게 나타났다.

표 7. 태양복사량 및 잠재증발산량 계산방법에 따른 오차분석

대상 유역	번호	태양복사량	감 계증발산량	총유출량(m ³)		원 형 유 출 량 RM S.S.차
				관측치	계산치	
외 산 댐 유 역	1 운 광 밀 도 와 최 고 · 최 저 기 온 차 의 관 계 를 이 용 하 는 방 법	펜 증 발 량	8.23E+09	5.21E+09	0.367	3.272
		Ham on 방 법		7.88E+09	0.043	0.519
		Jensen과 Haise 방법		5.82E+09	0.294	1.351
		Jensen과 Haise 방법		5.21E+09	0.367	3.281
	2 도일 계수 와 최 고 기 온 차 의 관 계 를 이 용 하 는 방 법	펜 증 발 량	7.81E+10	7.92E+09	0.038	0.561
		Ham on 방 법		8.13E+09	0.013	0.981
		Jensen과 Haise 방법		4.68E+10	0.400	3.286
		Jensen과 Haise 방법		7.39E+10	0.053	0.500
충 주 댐 유 역	3 운 광 밀 도 와 최 고 · 최 저 기 온 차 의 관 계 를 이 용 하 는 방 법	펜 증 발 량	7.81E+10	5.81E+10	0.255	0.943
		Ham on 방 법		4.66E+10	0.403	3.390
		Jensen과 Haise 방법		7.48E+10	0.041	0.581
		Jensen과 Haise 방법		7.27E+10	0.069	0.628
	4 도일 계수 와 최 고 기 온 차 의 관 계 를 이 용 하 는 방 법	펜 증 발 량		4.66E+10	0.403	3.390
		Ham on 방 법		7.48E+10	0.041	0.581
		Jensen과 Haise 방법		7.27E+10	0.069	0.628
		Jensen과 Haise 방법		4.66E+10	0.403	3.390



(a) 괴산댐 유역(No. 1) (b) 괴산댐 유역(No. 2) (c) 충주댐 유역(No. 3) (d) 충주댐 유역(No. 4)

그림 1. 태양복사량 및 잠재증발산량 계산방법에 따른 월별유출량 변화

6. 결 론

PRMS 모형의 수치표고모형, 토양도, 식생도로부터 매개변수를 산정하고, 추정되어야 할 매개변수를 선택하기 위한 민감도분석을 수행하였다. 괴산댐유역을 대상으로 민감도 분석을 수행한 결과 태양복사량과 증발산량 계산에 관련된 변수들이 총 유출량의 민감도가 높게 나타났다. 표로 제시하진 않았지만 기온조절계수 및 지표호름에 관련된 계수들은 월별 유출량의 민감도가 높았으며, 유출수분곡선의 형태를 조정하게 되는 유출성분비의 민감도가 높은 변수로는 지표호름, 지표하호름, 지하수호름과 관련된 매개변수들로 나타났다. 태양복사량과 증발산량 계산방법에 따른 매개변수들에 대한 민감도를 조사한 결과 팬증발량과 Hamon방법의 경우 태양복사량 산정에 관련된 매개변수들의 민감도가 낮았으며, Jensen과 Haise방법의 경우에는 태양복사량 산정에 관련된 매개변수의 민감도가 높게 나타났다. 그러므로 태양복사량에 관련 매개변수들을 추정할 수 없는 경우에는 팬증발량과 Hamon방법을 설정하여 유출모의를 수행하는 것이 매개변수를 추정할 경우 편리하다고 판단되었다. 태양복사량 및 잠재증발산량을 계산하는 방법에 따른 모의 결과를 관측치와 비교한 결과 잠재증발산량 계산방법에 따른 오차변화가 크며, 태양복사량의 계산방법에 따른 오차변화가 상대적으로 작게 나타났다. 괴산댐유역과 충주댐유역의 경우에는 대체로 도일계수방법과 Hamon 방법으로 모의하는 경우 오차가 작게 나타났다.

본 연구는 한강유역조사사업(건설교통부, 한국수자원공사)의 일환으로 수행되었으며, 한강유역조사사업의 장기유출 모형(PRMS 모형)에 관한 연구는 진행 중에 있다.

7. 참고문헌

- 노재경, (1991). 토양 수분 저류에 의한 일 유출량 유역 모형, 박사학위논문, 서울대학교
 임창수, (2000). 증발산량 산정에 관한 연구, 한국수자원학회 학술발표회 논문집
 Hamon, W. R., (1961). Estimating potential evapotranspiration, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Hydraulic Division, vol. 87, no. HY3, pp. 107-120.
 Jensen, M. E., and Haise, H. R., (1963). Estimating evapotranspiration from solar radiation, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of Irrigation and Drainage, v.89, no. IR4, pp. 15-41.
 Leavesley, G.H., Lichy, 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.
 Swift, L.W., Jr., (1976). Algorithm for solar radiation on mountain slopes, Water Resources Research, v. 12, no. 1, pp. 108-112.
 Vijay P. singh, (1995). Computer Models of Watershed Hydrology. , Water Resources Publications