

SLURP모형에서 증발산 모형의 평가

Evaluation of the Evapotranspiration Models in The SLURP Hydrological Model

김병식* / 조두찬** / 김형수*** / 서병하****

Kim, Byung-Sik / Cho, Doo Chan / Kim, Hung-Soo / Seoh, Byung-Ha

Abstract

Hydrological models simulate the land phase component of the water cycle and provide a mechanism for evaluating the effects of climatic variation and change on water resources. Evapotranspiration(ET) is a critical process within hydrological models. This study evaluates five different methods for estimating ET in the SLURP(Semi-distributed Land Use Runoff Process)model, in the Yongdam basin. The five ET methods were the FAO Penman-Monteith, Motorn CRAE(Complementary Relationship Area Evapotranspiration), the Spittlehouse-Black, the Granger, the Lincarce model. We evaluated the five ET models, based on the ability of SLURP model to simulate daily streamflow. and How the five ET methods influence the sensitivity of simulated streamflow to changes in key model parameters and validation SLURP independently for each ET methods

Key words ; Evapotranspiration models, SLURP, Sensitivity

요 지

수문학적 모형들은 지구 물 순환에 있어서의 지표 성분을 모의하고 기후의 변화나 변동이 수자원에 미치는 영향을 평가하는데 메카니즘을 제공한다. 이러한 모형들에 있어서 증발산량(Evapotranspiration, ET)은 매우 중요한 요소이다. 본 연구에서는 SLURP 모형에서 증발산량 산정을 위하여 제시하고 있는 FAO Penman-Monteith, Motorn CRAE(Complementary Relationship Area Evapotranspiration), Spittlehouse-Black, Granger, the Lincarce 등, 5 종류의 모형에 대하여 각각의 모형이 일 하천유출량에 미치는 영향을 분석해 보았다. 또한, 각 증발산 방법과 SLURP 모형의 매개변수와 민감도 분석을 실시하였다.

핵심용어 ; 증발산 모형, SLURP, 민감도

-
- * 인하대학교 토목공학과 박사과정(e-mail; hydrokbs@orgio.net)
Doctoral Student, Dept. of Civil Engrg., Inha Univ., Incheon, 402-751, Korea
 - ** 대림산업기술연구소 토목설계지원팀 연구원(e-mail; cdc1291@dic.co.kr)
Researcher, Daelim Technology Reaserch Institute., Seoul, 110-732, Korea
 - *** 인하대학교 토목공학과 조교수(e-mail; sookim@inha.ac.kr)
Prof., Dept. of Civil Engrg., Inha Univ., Incheon, 402-751, Korea
 - **** 인하대학교 토목공학과 교수(e-mail; seohydro@inha.ac.kr)
Prof., Dept. of Civil Engrg., Inha Univ., Incheon, 402-751, Korea

1. 서론

전구또는 국지적 기후와 물순환 과정을 모형화하는 능력은 대기(atmospheric)와 수문학적(hydrological) 모형을 얼마나 성공적으로 연계(coupling)하느냐에 좌우된다. 수문학적 모형은 물순환 과정에서 지표(land)단계의 요소를 모의하는 것이며 기후 변화 및 변동에 따른 수자원에 미치는 영향을 평가하기 위한 메카니즘을 제공한다. 증발산(이하 ET)은 수문학적 물수지에서 매우 중요한 요소 중 하나이다. 그러나 대부분의 증발산을 산정하기 위한 모형들은 너무나 많은 종류의 기상자료를 입력자료를 필요로 하기 때문에 현실적으로 수문학적 모형에 적용되기 어려운 실정이다. 증발산 산정의 중요성에도 불구하고, 이전의 연구사례들을 살펴보면 여러 가지의 증발산 산정 모형이 수문학적 모형의 거동에 미치는 영향을 분석을 한 경우는 거의 전무하다. Oliver(1985)은 증발산은 물수지 요소 중 정확하게 추정하기에 가장 어려운 요소라고 언급하였으며, Doyle(1990)은 하천 유출량을 산정하는데 있어서 Motorn과 Penman/Thornthwaite 증발산 추정 방법의 상대적 장점 등을 분석하였다. 이 논문에서는 Morton 모형이 Penman/Thornthwaite 보다 더 장점이 있다고 결론을 지었다. Doyle는 이러한 결과의 차이는 토양습윤을 모의하는데 있어서의 차이점 때문이라고 하였으며, 수문학적 모형이 토양습윤에 종속되어 있는 증발산모형을 이용하는데 있어 많은 불확실성(위험성)이 있을 수 있다고 결론을 내렸다. 그러나, 건조지역에서의 유사한 연구에서는 Lemeur와 Zhang(1990)은 오히려 Penman/Thornthwaite 방법이 Motorn 방법보다 더 유출량을 더 잘 모의한다고 하였다.

준 분포형 수문모형이 집중형 모형과 다른 특징은 집중형 모형의 경우 대부분이 증발산 모형과 수문모형의 토양수분관련 인자가 독립적으로 요소로서 모의되지만 준 분포형은 증발산과 토양수분이 연계되어 되먹임(feedback)을 고려하여 모의할 수 있다는 점이다. 그러므로, 준 수문모형을 이용하여 하천유출량을 모의할 경우 대상 지역의 지역적 기후를 고려하여 여러 증발산 모형 중 가장 적합한 증발산 모형을 선택하는 과정이 선행되어야 할 것으로 판단된다. 그러므로, 본 연구에서는 준 분포형 모형인 SLURP 모형을 이용하여 유출량을 모의하기 위해 5가지의 증발산 모형이 유출모형에 미치는 영향을 분석하였으며, 이 결과를 근거로 SLURP 모형에 적합한 증발산 모형을 제시하고자 하였다.

2. 이론

2.1 SLURP 모형의 개요

SLURP 모형은 SSARR 모형과 같은 복잡한 모형의 대안으로서 중규모 유역에 사용하기 위해 1975년에 처음 개발되었으며 그 이후 12차례에 걸쳐 개선되어 왔다.(Kite 등, 2000) 초기에는 SLURP(Simple Lumped Reservoir Parametric)으로 개발되었으나, SLURP(Semi-distributed Land Use-based Runoff Processes)의 준 분포형 모형으로 변환되었으며 SLURP는 준 분포형 모형이지만, 분포형 모형으로 사용이 가능한 물리적 해석 모형으로써 강수사상을 강우사상과 강설사상으로 분리하여 고려할 수 있다.

2.2 증발산(Evapotranspiration) 모형

SLURP 모형은 증발산량을 산정하는 과정에서 일조시간(또는 최대 일조시간에 대한 일조시간의 비) 또는 지구 복사량을 입력자료로 사용한다. SLURP 모형에서 일조시간이 입력자료로 사용됐을 때에는 소유역, ASA에 대한 일 태양 복사량을 구할 수 있다. 각각의 증발산 모형을 간단히 살펴보면 다음과 같다.

본 연구에서는 다음의 5가지 방법에 의해서 SLURP 모형내에서 증발산량을 추정하고자 한다.

- (1) Morton Complementary Area Evapotranspiration Model(CRAE)
- (2) PAO Penman-Monteith Model(P-M)
- (3) Granger Model(Granger)
- (4) Spittlehouse - Black Model(S-B)
- (5) Linacre Model(Linacre)

3. 적용

3.1 대상유역 및 자료수집

본 연구에서는 대상 유역으로 용담댐 유역을 선정하였다. 용담댐 유역은 한국수원공사의 시험유역으로서 운영 및 관리되고 있기 때문에 SLURP 모형의 입력 자료를 충분히 만족시켜줄 수 있는 자료들을 얻을 수 있으며 특히, DEM과 위성으로부터의 토지이용도를 얻기가 용이한 지역이기에 본 연구에서 대상유역으로 선정하였다. 용담수위표 지점은 35년 이상의 수위자료를 보유하고 있으며 수위-유량 관계곡선 식이 작성되어 있고 유역 내에 진안, 무주, 계북, 장수 등 4개의 유량관측소가 분포되어 있다. 본 연구는 용담수위표지점의 1995년 1월~1997년 12월간의 일 수위자료(한국 건설기술연구원 수문D/B, 진안, 무주, 계북, 장수 지점의 일 강수량, 전주측 후소의 기상자료를 이용하였다. 그림 1과 2는 용담댐 유역의 토지피복 현황을 나타낸 것이다.

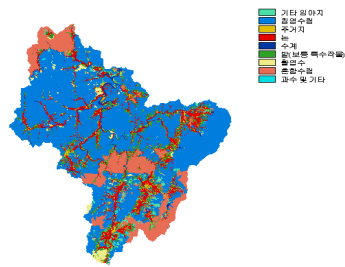


그림 1. 토지피복도

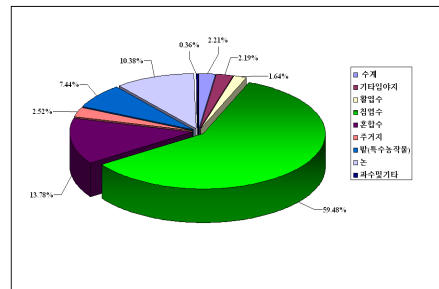


그림 2. 토지피복 구성비

3.2 방법론

본 연구에서는 먼저 5가지 증발산 모형에 대하여 각각 SLURP 모형의 매개변수를 결정된 후 SLURP 모형의 27개의 매개변수 중 증발산과 토양수분의 되먹임(feedback)과 관계가 있는 4 종류의 매개변수에 대하여 민감도분석을 실시하였으며 4 종류의 매개변수(Initial contents of slow store[% of max], Maximum capacity for fast store[mm], Maximum infiltration rate[mm], Maximum capacity for slow store)의 변화에 따른 유출량의 변화 및 증발산량의 거동변화를 살펴보았다.

3.3 증발산 모형별 SLURP 모형의 보정

3.3.1 일 유출 수문곡선과 효율계수의 비교

본 연구에서는 1996년 관측 수문기상 자료 및 유출량을 입력자료로 하여 SCE-UA 최적화 알고리즘을 이용하여 SLURP 모형의 매개변수를 최적화하였다. 그림 5은 5가지의 증발산 모형별 최적화된 최적 매개변수를 이용하여 산정된 일 유출 수문곡선을 비교한 것이며, 표 1은 효율계수와 연 증발산량을 비교한 것으로 5가지 모든 효율계수 값이 0.7이상의 높은 값을 나타내었다. 그러나, 그림3과 같이 수문곡선으로 도시하여 비교해 보면 Motorn CRAE와 S-B를 제외한 다른 3가지 방법은 수문곡선의 기저 부분의 모양이 관측치를 잘 재현 하지 못함을 알 수 있다.

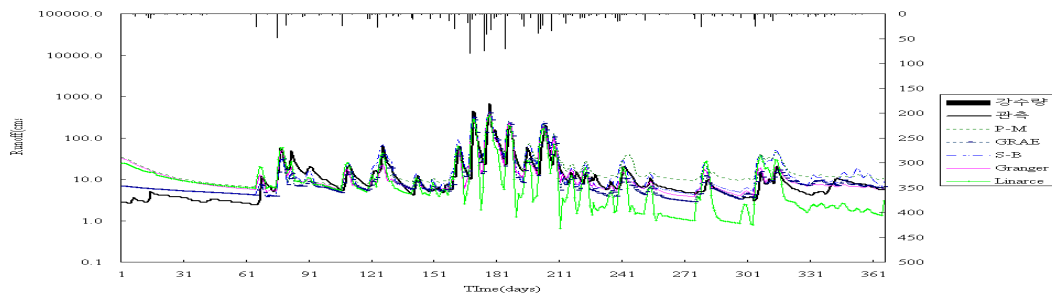


그림 3. 증발산 모형별 일 유출 수문곡선의 비교 (1996년)

표 1. 증발산 모형별 연 증발량 및 효율 계수의 비교

연 증발량 비교						
종 류	Pan	P-M	CRAE	S-B	Granger	Linacre
Evapo+ trans(Demand)	1067.34	708.7	982.7	636.5	1294	2208
Evapo		117.2	108.2	94.24	125.7	172.3
Transpir		287	547.8	362	579.7	711.9
Actual	747.138	404.2	656	456.24	705.4	884.2
효율 계수 비교						
종 류	P-M	CRAE	S-B	Granger	Linacre	
Nash	0.7	0.76	0.73	0.75	0.75	
Garrick	0.74	0.78	0.76	0.78	0.78	
Previous	0.64	0.7	0.66	0.69	0.68	
WMO체적오차	-36	1.31	-27.3	-4.53	10.86	

3.3.2 연 증발산량의 비교

전주 기상대의 관측 Pan 증발량을 잠재 증발산량(Potential ET; ET_demand)으로 보고 증발점시계수 0.7을 곱한 값을 실제 증발산량의 참값으로 가정(수자원공사, 1999)하여, SLURP 모형내에서 산정된 증발산 모형별 연 증발산량을 비교해 본 결과, 잠재 연 증발산량의 경우 P-M 모형과 S-B모형은 과소하게 산정되었으며 Granger와 Linacre 모형은 과대하게 산정되었다. 실제 연 증발산량은 잠재 연증발량의 결과와 동일하게 P-M 모형과 S-B모형은 과소하게 산정되고 Linacre 모형의 경우 과대하게 산정되었지만 Granger 모형은 실제 값과 비슷한 결과를 보였다(그림 4 참조). CRAE 모형은 잠재/실제 증발산량 모두 실측치에 가까운 값을 나타내었다. 또한 그림 4을 보면 각 모형별 증발(evaporation)은 비슷하지만 증산량(transpiration)에 많은 차이가 있음을 알 수 있으며 이를 통해 증발량은 수문기상인자의 함수이지만, 증산은 수문기상인자 이외에 토지피복과 토양인자의 함수이며 토양수분과 되먹임(feedback)관계가 있음을 추론 할 수 있다.

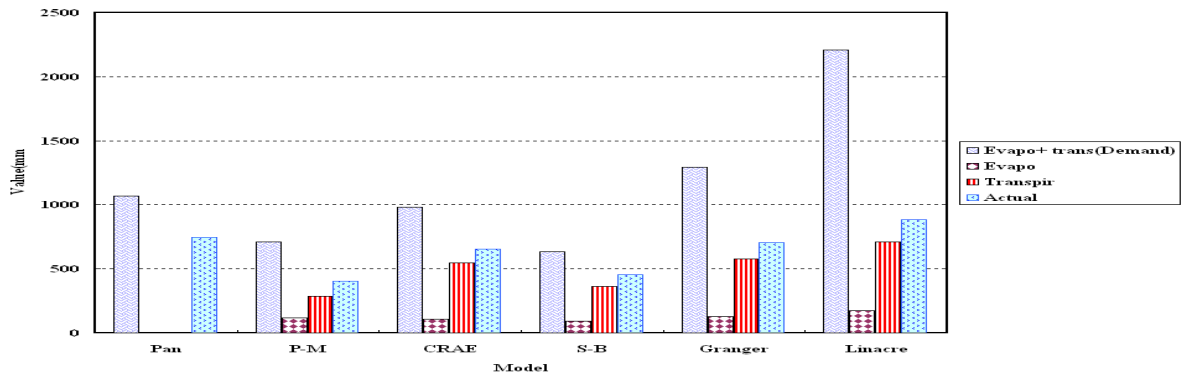


그림 4. SLURP 모형 내에서 증발산 모형별 연 증발산량의 비교

그림 5은 증산발 모형별 토지피복별 매개변수를 도시한 것으로 Morton을 제외한 나머지 모형들은 매개변수의 변화폭이 크을 알 수 있다. 이를 통해 Morton 증발산 모형과 SLURP 모형의 매개변수의 관계가 다른 증발산 모형에 비해 안정적임을 추론할 수 있다.

3.4 민감도분석

본 절에서는 4종류의 매개변수 변화에 따른 연 유출량, 증발량, 증산량의 민감도를 분석하여 증발산 모형 별로 비교하였다. 그림 6과 7은 4종류의 매개변수 중에서 Initial contents of slow store와 Maximum capacity for slow store 변화에 따른 증발량, 증산량의 거동을 나타낸 것이다. 그림을 보며 증발량의 경우

모형에 상관 없이 Initial contents of slow store와 Maximum capacity for slow store 변화에 민감하지 않음을 알 수 있으며, 반면에 증산의 경우 Initial contents of slow store보다는 토양의 심층에 해당되는 Maximum capacity for slow store의 변화에 민감도가 높음을 알 수 있다.

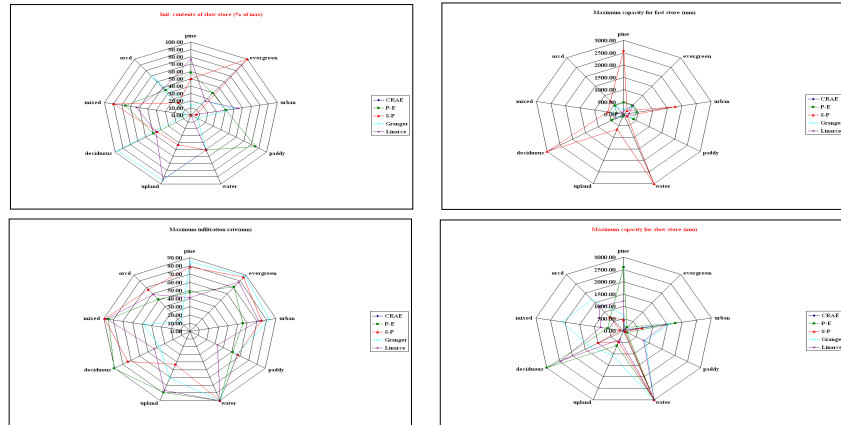


그림 5. 증발산모형별 토지피복별 매개변수의 변화폭의 비교 (시계방향순으로, Initial contents of slow store[% of max], Maximum capacity for fast store[mm], Maximum infiltration rate[mm], Maximum capacity for slow store)

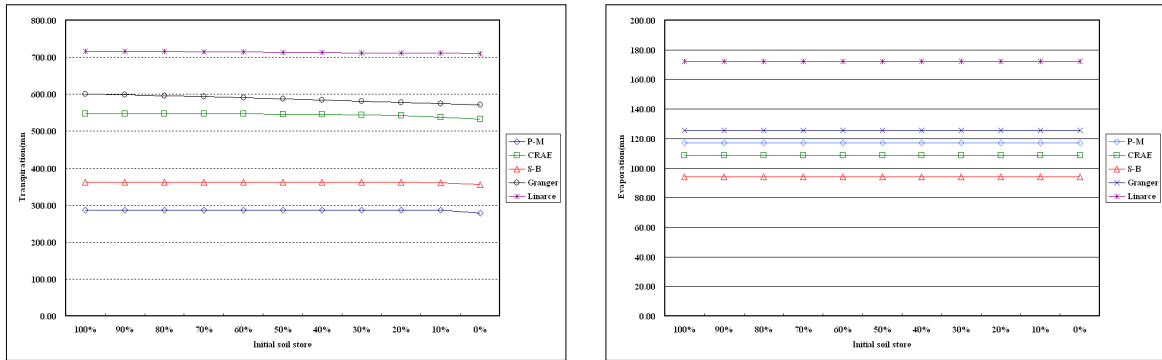


그림 6. Initial contents of slow store

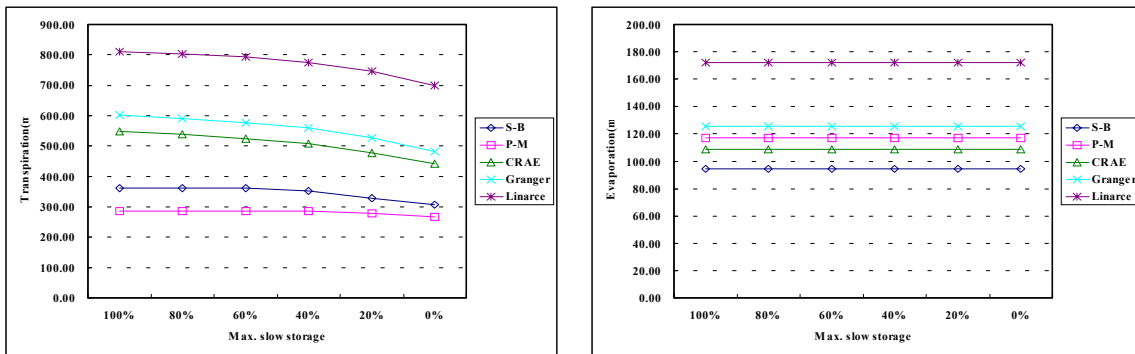


그림 7. Maximum capacity for slow store

그림 8은 Maximum capacity for slow store 변화에 따른 증발산 모형별 유출량, 증발량, 증산량의 민감도를 나타낸 것으로 Lmarce를 제외한 모든 증발산 모형이 Maximum capacity for slow store의 변화가 40%를 기준으로 민감도가 높아지며 유출량은 증가, 증산량은 감소하는 것으로 나타났다. 그러나, Lmarce 모형의 경우 유출량은 증가하지만, 증산량은 감소하는 특이한 결과를 나타냈다. 또한 그림 6을 보면 P-M 모형은 증산량이 과소하게 산정되며 다른 모형에 비해 토양수분량의 변화에 민감도가 낮음을 알 수 있다.

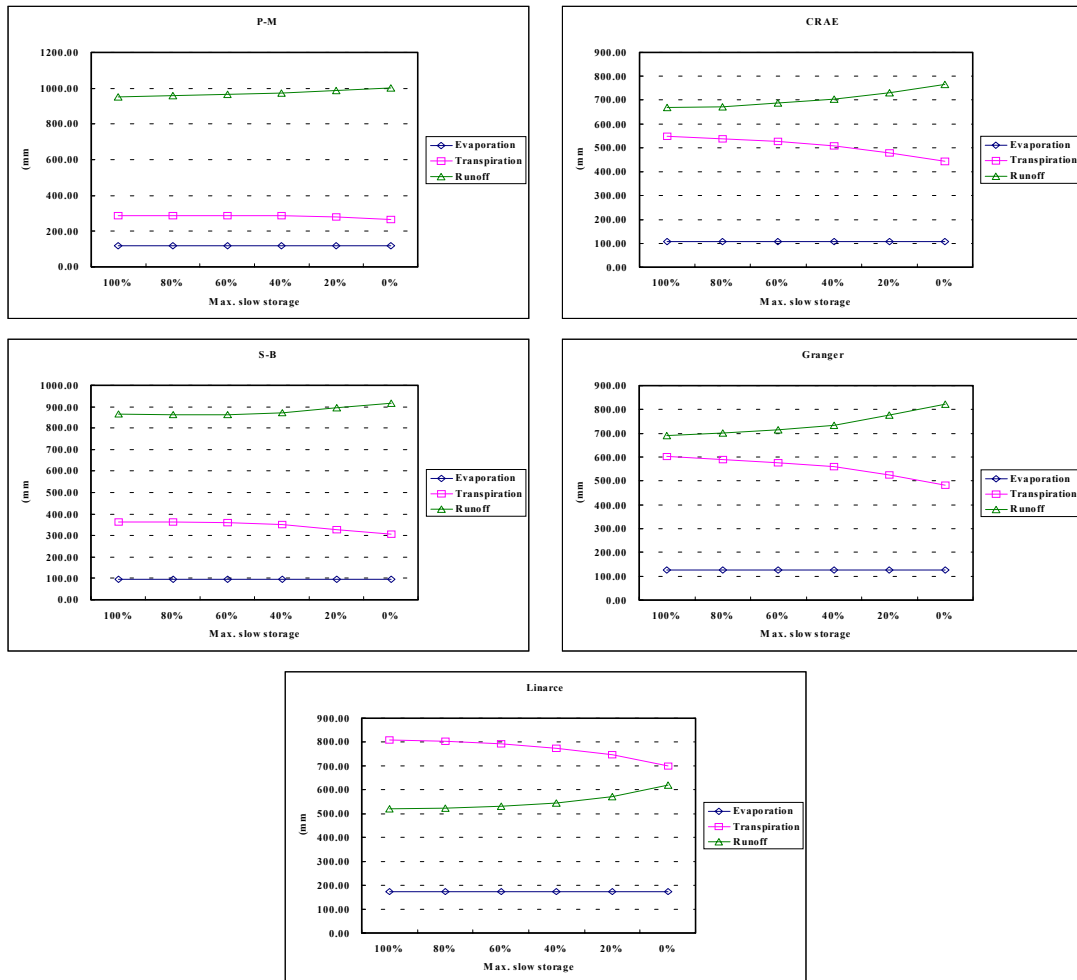


그림 8. 증발산 모형별 SLURP 모형의 Maximum capacity for slow store 변화에 따른 유출량, 증발량, 증산량의 거동

4. 요약 및 결론

위의 모든 결과를 토대로 결론을 요약하자면, SLURP 모형내의 5가지의 증발산 모형은 SLURP 모형의 증발산의 되먹임(feedback)과 관련 있는 4가지의 매개변수 중 Maximum capacity for slow store 변화에 가장 민감하였으며, 5가지의 증발산 모형 중, Motorn CRAE 모형이 가장 유출모의를 하는데 있어 적합한 증발산모형임을 알 수 있었다.

참고 문헌

강경석, 서병하 (1996) 댐 저수지 설계를 위한 갈수량 분석, 大韓土木學會論文集, 대한토목학회 제 16권 제 II-6호. pp. 543~554.

Green, W.H. and Ampt, G.A. (1911) Studies in soil physics. 1. Flow of air and water through soils. *J. Agric. Science*, Vol. 4, pp. 1~24.

Kite, G.W. (1978) Development of a hydrological model for a Canadian watershed. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 5, No. 1, pp. 126~134.