

# 증발산량 산정 방법에 따른 기후변화 영향평가의 민감도 분석

## Sensibility Analysis of Evapotranspiration Methods for Climate Change Impact Assessment

전태현\*, 정일원\*\*, 이병주\*\*\*, 배덕효\*\*\*\*

Tae-Hyun Jun, Il-Won Jung, Byung-Joo Lee, Deg-Hyo Bae

### 요 지

장기적인 수자원정책을 수립하기 위해서는 강수, 증발산, 유출 등의 물수지의 변동성을 평가하는 것이 중요하다. 특히 기후변화로 인한 기온 증가는 증발산량에 영향을 미칠 것이다. 따라서 기후변화에 따른 수자원의 영향을 신뢰성 있게 평가하기 위해서는 증발산량의 산정방법에 대한 불확실성을 평가하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 다섯 가지의 증발산량 산정방법에 대해 기온 및 강수변화에 따라 증발산량 계산과 유출량 산정에 미치는 영향을 평가하였다. 안동댐 유역에 대해 준분포형 수문모형인 SLURP를 이용하여 기온과 강수변화에 따른 5가지 증발산량 산정방법의 민감도를 분석하였다. SLURP 모형에서는 Penman-Monteith method, Morton CRAE method, Spittlehouse/Black method, Granger method, Linacre method의 다섯 가지 방법을 제시하고 있고, 관측 자료에 대해 검보정을 수행한 결과 5개의 증발산량 산정법 모두 안동댐 유역에 대해 잘 모의하는 것으로 나타났다. 기온과 온도를 변화시킨 합성시나리오에서 Linacre 방법이 다른 방법들과 비교하여 높은 민감도를 나타내었는데 증발산량 산정방법별 구조적 차이가 원인 것으로 판단되어 추가적인 연구가 진행 중이다. 결과적으로 각 증발산량 산정방법에 따른 민감도 차이는 기후변화 영향평가 결과의 불확실성을 제시하는 척도가 될 것이다.

**핵심용어** : 기후변화, SLURP, 증발산, 민감도

## 1. 서 론

기후변화는 기온 증가, 해수면 상승 등을 발생시켜 인간의 생활환경에도 큰 영향을 미칠 것으로 알려져 있다. 특히 수자원에 있어서 기후변화가 이·치수에 미치는 영향을 평가하는 일은 매우 중요하다. 이 중에서 증발산량은 수문성분으로서 기후변화 수자원 영향평가에서 중요한 고려요소이다.

기후변화에 의한 수자원의 영향을 평가하기 위해 평가 목적에 따라 다양한 강우-유출 모형이 적용되고 있다. 이러한 강우-유출 모형을 이용한 유출분석에서는 1개 이상의 증발산량 산정방법을 적용하고 있다. 본 연구에서는 기후변화로 인한 강수와 온도변화 상황에서 모형의 증발산량 산정방법에 따라 유출량이 얼마만큼 민감하게 변화할 수 있는지를 평가하고자 한다. 이를 위해 유출모형으로는 SLURP 모형을 선정하고, 5개의 증발산량 산정방법에 따른 결과를 분석하였다.

## 2. 방법론

\* 정회원·세종대학교 토목환경공학과 석사과정-E-mail : [chapter2nend@nate.com](mailto:chapter2nend@nate.com)  
\*\* 정회원·세종대학교 토목환경공학과 공학박사-E-mail : [bobilwon@paran.com](mailto:bobilwon@paran.com)  
\*\*\* 정회원·세종대학교 토목환경공학과 박사과정-E-mail : [bjlee0704@paran.com](mailto:bjlee0704@paran.com)  
\*\*\*\* 정회원·세종대학교 토목환경공학과 교수-E-mail : [dhbae@sejong.ac.kr](mailto:dhbae@sejong.ac.kr)

## 2.1 대상유역 및 자료

본 연구의 대상유역은 낙동강 최상류에 위치해 있는 안동댐 유역이다(그림 1). 유역면적은 1590.72km<sup>2</sup>이고, 1977년부터 현재까지 약 30년 동안의 유입량자료를 보유하고 있다. 본 연구에서 유출모형으로는 SLURP 모형을 선정하였고, 매개변수 검·보정을 위해 총 29년(1977~2005년)간의 기상 및 댐유입량 자료를 수집하였다. 안동댐유역의 1977~2005년 동안의 연평균강수량은 1129.80mm로 산정되었으며, 연평균강수량의 68.2%가 6~9월에 집중해서 내리는 것으로 나타났다(그림 2). 연평균유입량은 1,030.9 백만 m<sup>3</sup>/year 이고, 최대 연유입량은 1,967.5 백만 m<sup>3</sup>/year (2003년), 최소 연유입량은 479.2 백만 m<sup>3</sup>/year (1982년)이었다. SLURP 모형의 지형학적 매개변수 추정을 위해 DEM, 토지피복도, 정밀토양도 자료를 수집하고 이용하였다.

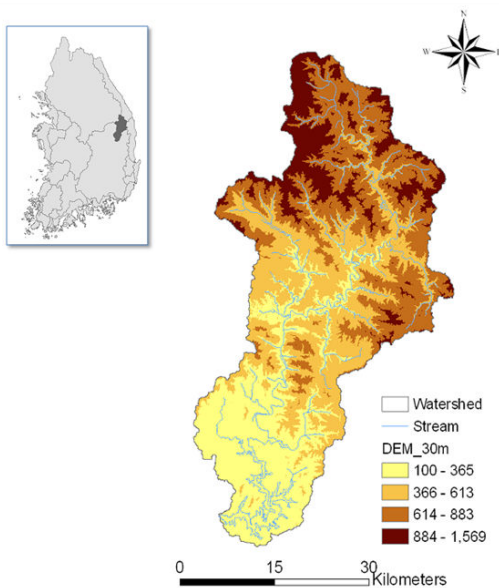


그림 1. 대상유역도

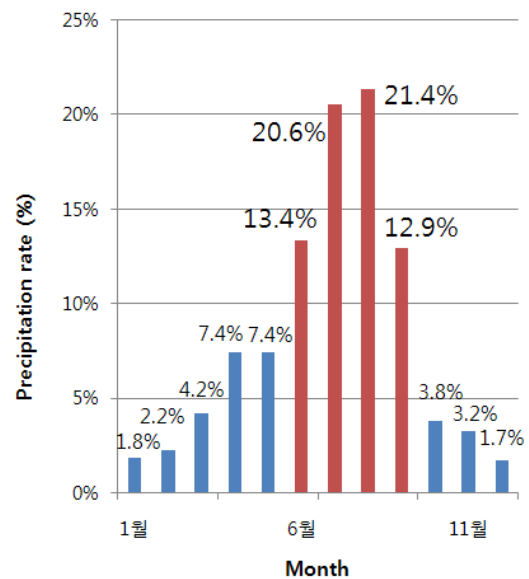


그림 2. 강수량의 월별 분포

## 2.2 SLURP 모형

SLURP 모형은 SSARR 모형과 같은 복잡한 모형의 대안으로서 중규모 유역에 사용하기 위해 1975년에 처음 개발되었으며 그 이후 12차례에 걸쳐 개선되어 왔다(Kite et al., 2000). 초기에는 SLURP(Simple Lumped Reservoir Parametric)으로 개발되었으나, SLURP(Semi-distributed Land Use-based Runoff Processes)의 준분포형 모형으로 변화되었으며 SLURP는 준분포형 모형이지만, 분포형 모형으로 사용이 가능한 물리적 해석 모형으로써 강수사상을 강우사상과 강설사상으로 분리하여 고려할 수 있다. 적용 유역면적도 250km<sup>2</sup>(Sabourin, 1996), 7,500~35,000km<sup>2</sup>(Kite, 1993), 1.8×10<sup>6</sup>km<sup>2</sup>(Kite et al., 1994) 등으로 소유역에서 대유역까지 적용성이 높은 것으로 알려져 있다. 또한 대상유역에 대해 지형학적 매개변수를 바꾸지 않고 다섯 가지 증발산량 산정방법 중에서 한 가지를 선택하여 유출모의를 할 수 있다. 따라서 동일조건에서 증발산량 산정방법에 따른 유출량의 차이를 알아보기에 적합하다.

## 2.3 증발산량 산정방법별 기후변화 영향평가를 위한 민감도 분석방법

본 연구에서는 SLURP 모형의 5가지 증발산량 산정방법을 이용하여 기후변화에 대해서 증발산량 방법에 따른 수자원 영향평가 결과의 민감도를 비교분석하고자 하였다. 증발산량 산정방법은 각각 Penman-Monteith (FAO version), Morton CRAE, Spittlehouse/Black, Linacre, Granger이고, 연구는 크게 두 단계로 나누어 수행되었다.

우선 관측자료 기간에 대해 5개의 증발산량 산정법별 유출모의 능력을 분석하였다. 본 연구에서는 입력자료에 따른 영향을 제거하기 위해 유역평균 강수량과 기상자료를 산정하여 적용하였다. 그 다음은 기후변화상황에서의 모형의 수문학적 거동을 살펴보기 위해 강수와 기온에 대한 합성시나리오를 이용하였다. 합성시나리오는 안동댐유역의 강수와 기온 자료를 기반으로 강수는  $\pm 10\%$ 와  $\pm 20\%$ 의 4가지 경우, 기온은  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $1^{\circ}\text{C}$ ,  $3^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$ 의 4가지 변화를 고려하여 총 16개의 시나리오를 구축하였다. 모의기간은 1977~2005년까지 총 29년으로 관측자료 기간과 동일하다.

### 3. 적용 및 결과

#### 3.1 SLURP 모형 매개변수 추정

본 연구에서는 5개의 증발산량 산정방법에 대해 관측유량자료에 근접한 결과를 모의할 수 있는 SLURP 모형의 공통 매개변수를 추정하였다. 이를 위해 전체 자료기간을 보정기간(1996~2005년)과 검정기간(1977~1995년)으로 구분하였으며, 보정기간에서 추정한 매개변수는 검정기간에 대해서 적합도를 평가하였다. 준분포형 모형은 수치지형도, 토지피복도, 토양도 등의 GIS 자료를 이용하므로, SLURP 또한 많은 지형학적 매개변수가 객관적으로 결정될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 지형자료를 이용하여 추정하기 어려운 연직물수지(Vertical water balance)에 관련된 매개변수만을 보정하였다. 그 결과 각 증발산량 산정방법 Correlation coefficient는 0.82, Nash-sutcliffe model efficient는 0.64~0.66, Percent error in volume은  $-2.33\sim 9.41\%$ 로 적절한 적합도를 나타내었다. 그림 3은 전체자료기간에 대한 월평균유출량을 도시한 것으로서 Linacre 방법이 다른 방법에 비해 봄-여름철에서 비교적 관측값과 차이를 보였으나 전체적으로 관측값에 근접한 결과를 보여주고 있다. 결과적으로 SLURP의 다섯 가지 증발산량 산정방법은 과거사상에 대하여 안동댐유역의 유출량을 잘 모의하는 것으로 나타났다.

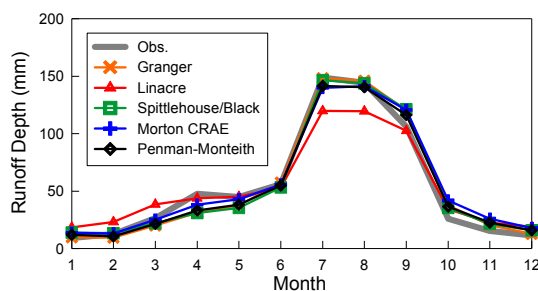


그림 3. 증발산량 산정법별 월평균유출량

#### 3.2 기온과 강수변화에 따른 증발산량 산정방법별 연평균 결과 비교

본 연구에서는 유출모형에 따라 수자원 영향평가에서 나타날 수 있는 불확실성을 평가하기 위해 기온은  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $1^{\circ}\text{C}$ ,  $3^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$  변화에 대해 분석하였으며, 강수량은  $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$ 의 변화에 대해 분

석하였다.

그림 4와 그림 6은 각각 강수량 변화 시 기온 증가에 따른 연평균유출량과 실제증발산량의 변화량을 도시한 것이다. 또한 그림 5와 그림 7은 기온 변화 시 강수량 변화에 따른 연평균유출량과 실제증발산량의 변화량을 도시한 것이다. 강수량 변화에 대해서 Linacre 방법은 실제증발산량의 변화량이 다른 4가지 방법과 비교하여 약 3%정도 크게 변화하였고, 기온이 증가할 경우 Linacre 방법은 다른 4가지 방법보다 더 민감한 변화율을 보였다. Linacre 방법은 입력자료 중에서 기온자료만을 사용(Dent et al., 1988)하므로 기온변화에 상대적으로 더 민감한 것으로 추정된다.

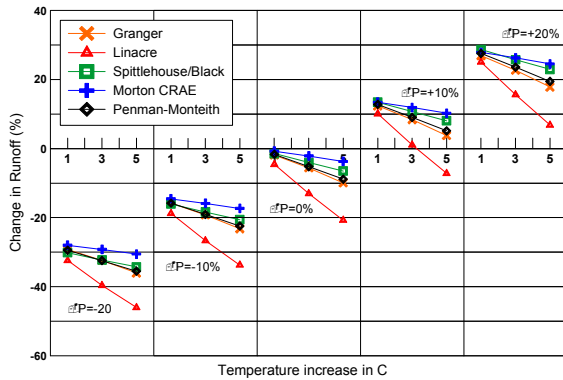


그림 4. 강수량 변화에 대하여 온도증가에 따른 연평균 유출량의 변화율

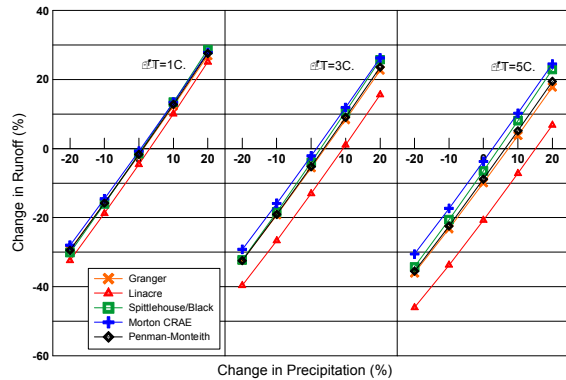


그림 5. 온도증가에 대하여 강수량 변화에 따른 연평균 유출량의 변화율

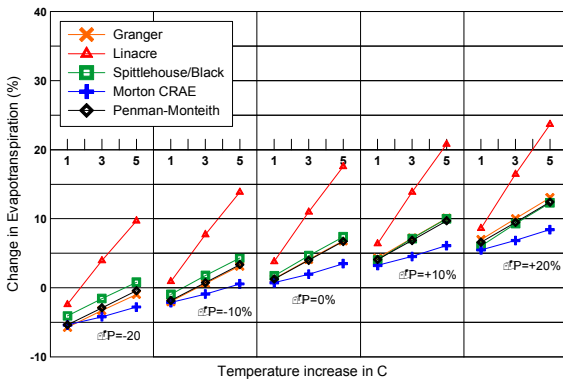


그림 6. 강수량 변화에 대하여 온도증가에 따른 연평균 증발산량의 변화율

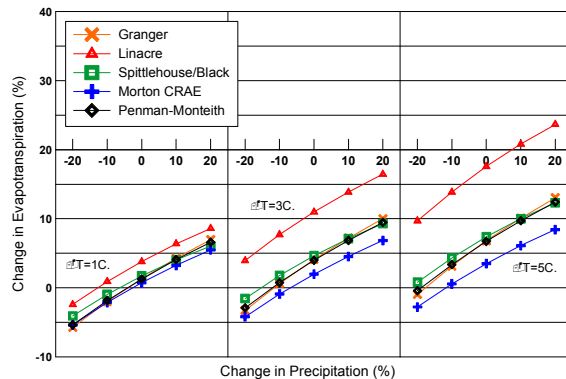


그림 7. 온도증가에 대하여 강수량 변화에 따른 연평균 증발산량의 변화율

### 3.2 기온과 강수변화에 따른 증발산량 산정방법별 월평균 결과 비교

본 연구에서는 강수량과 기온 변화에 따른 각 증발산 산정방법별 월평균유출량과 월별 실제증발산량의 변화율에 대해서도 분석하였다. 월평균유출량에 대해서 강수가 20% 감소하였을 때 기온 변화가 없으면 유출량은 20~30% 정도 감소하였고, 기온이 증가함에 따라 Linacre 방법의 경우 최대 약 53%까지 유출량이 감소하였다. 갈수기인 1~3월에 Spittlehouse/Black과 Linacre 방법이 기온이 1~5도로 증가함에 따라 나머지 방법들에 비해 16~29% 정도 유출량이 더 감소하는 경향을 나타내었다. 11월에서 3월까지 갈수기에서 실제증발산량도 Spittlehouse/Black과 Linacre 방법이 다른 방법들과 비교하여 높은 변화율을 나타내었다. 강수가 20% 증가하였을 때도 Spittlehouse/Black과 Linacre 방법이 다른 방법들과 비교하여 더 민감한 결과를 보였다. 이 결과

는 어떠한 증발산량 산정방법을 강우-유출모형에 적용하는가에 따라 기후변화 영향평가지 연평균 유출량의 변동성 평가에서 다른 결과가 나타날 수 있음을 보여주고 있다. 또한 증발산량 방법별로 차이를 보이는 11~3월은 유출량이 적은 겨울철로 용설이 미치는 영향이 크므로 용설 모의방법에 따른 영향을 분석하는 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

#### 4. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 SLURP 모형의 다섯 가지 증발산량 산정방법을 안동댐유역에 적용하여 기온과 강수변화에 따른 방법별 민감도를 분석하였다. 먼저 다섯 가지 방법 모두 과거의 관측된 기상자료를 이용한 유출모의에서 관측유량에 유사하게 모의하는 것으로 나타났다. 강수량과 온도를 변화시킨 경우 강수의 변화에 있어서는 유사한 변화율을 나타내었으나, 기온의 증가에 대해서는 Linacre 방법이 다른 방법들보다 더 민감하게 변화하였다. 입력된 여러 기상자료 중에서 다른 방법과 다르게 기온만을 사용하는 Linacre 방법의 구조적 특성이 원인인 것으로 판단된다. 따라서 증발산량 방법의 구조적인 차이에 대한 추가적인 연구가 진행중이다.

IPCC 보고서(IPCC, 2007)에서는 2100년 경 기온이 최대 6.4℃까지 증가할 것으로 전망하였는데, 이에 대한 수자원 영향평가지 증발산량 산정법에 따른 상당한 불확실성이 나타날 것으로 판단된다. 따라서 기후변화에 대해서 신뢰성있는 수자원 영향평가를 위해서는 불확실성을 명확히 하고 이를 줄여나가는 연구가 지속되어야 할 것이다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(1-9-3)에 의해 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. Dent, M.C., Schultze, R.E. and G.R. Angus, (1988). Crop water requirements, deficits and water yield for irrigation planning in southern Africa. Report 118/1/88, Water Research Commission, Pretoria.
2. Kite, G.C., Grayer, R.J., Rudall, P.J. & Simmonds, M.S.J. (2000). The potential for chemical characters in monocotyledon systematics. In Wilson, K.L. & Morrison, D.A. (eds) Monocots: Systematics and Evolution. Melbourne: CSIRO. 101-113.
3. Kite, G.W. (1993). Application of a land class hydrological model to climatic change, Water Resources Research, Vol. 29., No. 7, pp. 2377-2384.
4. Kite, G.W., Dalton, A., Dion, K. (1994). Simulation of streamflow in a macroscale watershed using general circulation model data, Water Resources Research, Vol. 30, No. 5, pp. 1547-1559.
5. Sabourin, (1996). J.F. Sabourin Implementation of a Distributed Hydrologic Model: Using SLURP on the Carp River Watershed, CCRS, Ottawa p. 43.