

기온변화가 유역 물수지에 미치는 영향 분석

Analysis of Water Balance in a Watershed according to Temperature Change

이병주*, 정일원**, 배덕효***
Byong Ju Lee, Il Won Jung, Deg Hyo Bae

요 지

본 연구의 목적은 기후변화로부터 예상되는 기온 변화로 인한 유출수문성분의 변동성을 평가하고자 하는 것이다. 이를 위해 52개 기상관측소 자료를 이용하여 연평균 기온의 변동성을 분석한 결과 평균 0.03°C/year이 증가하는 것으로 나타났다. 수문성분 분석을 위해 SWAT 모형을 4개 댐 상류유역에 적용하여 모형의 적용성을 검증하였다. 기온 1°C, 3°C, 5°C 증가를 고려한 가상 시나리오를 구축하여 모형에 적용하였다. 기온 증가에 따라 수문성분 중 지하수 유출량이 가장 민감하게 변하는 것으로 나타났으며 토양내 측방흐름은 변화가 없는 것으로 나타났다. 기온 증가에 따라 지표유출량, 지하수유출량, 실제 증발산량은 30% 이내의 변동성을 보임을 확인하였다.

핵심용어 : 기온 변화, 유출수문성분, SWAT

1. 서론

기후변화는 기후 시스템을 구성하는 대기, 해양, 생물, 빙하, 육지 등의 다양한 구성요소에 작용하여 자연 생태계와 인간의 사회 및 경제 시스템에 커다란 영향을 미친다. 특히 최근 인간의 활동에 의해 야기된 기후변화는 극치적인 기후 현상의 빈도와 강도에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 기온 상승, 강수량 변화, 강우패턴 변화, 해수면 상승 등을 야기할 것으로 알려져 있다(IPCC, 2007). 2007년에 발표된 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change; 이하 IPCC) 4차 보고서에 따르면 21세기말 지구의 평균기온이 최대 6.3°C 까지 증가할 것으로 전망되었다.

국내 기후변화에 관한 연구로 과학기술부(2007)에서는 '수자원의 지속적 확보기술개발사업'의 일환으로 기후변화가 국내 수자원에 미치는 영향에 대한 평가를 수행하였다. 또한 기후변화와 가장 밀접한 기상-수문 분야에서 활발한 연구들이 이루어지고 있는 실정이다.

수문성분의 가용성 및 거동특성을 파악하는 것은 유역 물 관리 측면에서 매우 중요하다. 특히 미래 기온 증가가 뚜렷한 만큼 수문성분의 변동성을 파악하는 것은 필요하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 SWAT 모형을 댐 상류유역에 적용하여 모형의 적용성을 평가하고 기온 증가를 고려한 가상 시나리오를 이용하여 기온 증가에 따른 유출수문성분의 변동성을 분석하고자 한다.

* 정회원-세종대학교 박사과정-E-mail : bjlee0704@paran.com
** 정회원-세종대학교 물자원연구소 박사후과정-E-mail : bobilwon@paran.com
*** 정회원-세종대학교 물자원연구소-토목환경공학과 교수-E-mail : dhbae@sejong.ac.kr

2. 기온변화 변동성 분석

본 연구에서는 최근 우리나라에서 발생하고 있는 기온변화 정도를 분석하기 위해 기상청 관할 기상관측소 자료를 이용하여 변동성 분석을 수행하였다. 대상 관측소는 관측자료 보유연수가 30년(1975~2004년) 이상인 관측소로 한정하였다. 57개 관측소가 가용하며 각 관측소에 대한 일평균 기온자료를 수집하였다. 연평균기온은 강원도내 해발 842.5m에 위치한 대관령관측소가 6.6℃로 가장 낮고 부산관측소가 14.6℃로 가장 높으며, 전체관측소의 평균은 12.3℃로 나타났다.

최근 30년간의 기온변화 정도를 파악하기 위해 연평균기온 자료를 이용하여 선형회귀분석을 수행하였다. 그림 1은 각 관측소의 연평균기온에 대해 선형회귀직선의 기울기에 해당하는 변화량을 IDW(inverse distance weighting)법을 이용하여 결과를 공간적으로 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 연평균기온은 문경관측소를 제외한 모든 지역에서 증가하는 것으로 나타났다. 특히 서울을 비롯한 수원 등의 수도권 지역과 대전, 대구 등 대도시지역에서 증가율이 높은 것으로 나타났고, 전라남도 지역과 경상북도 지역은 상대적으로 기온 증가율이 낮게 나타났다. 전 지역에 대해서 평균 0.03℃/year의 증가율을 보였으며 관측소별로는 문경관측소가 -0.02℃/year로 유일하게 감소하는 것으로 나타났으며 수원 관측소가 0.06℃/year로 가장 높은 증가율을 보였다.

이상의 결과에서 나타난 기온 증가 경향은 전 세계적으로 발생하고 있는 기후변화현상이 우리나라에도 그대로 반영되고 있음을 보여주는 것이라 하겠다.

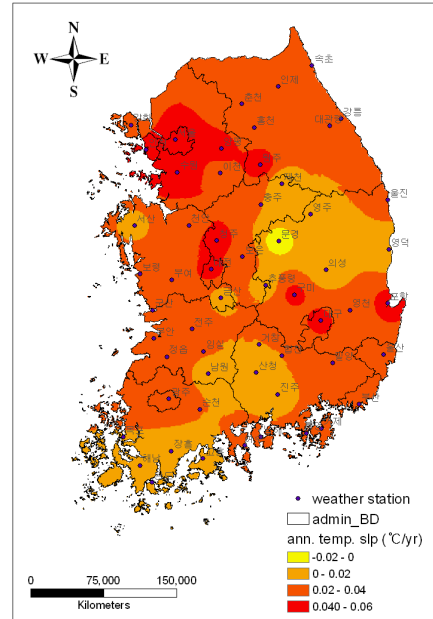


그림 1. 연평균기온의 변화량

3. 대상유역 선정 및 모형 검·보정

기온변화에 대한 수문성분의 변동성을 분석하기 위해 우선 비교대상의 기준이 되는 모형의 매개변수를 추정하는 과정이 필요하다. 적용대상유역은 중규모 크기의 유역면적을 가진 댐 상류유역을 선정하였다. 대상유역은 각 대권역별로 1개 유역을 선정하였으며 그림 2와 같다.

모형에 필요한 일별 강수량, 최소/최대 기온, 일사량, 풍속, 상대습도 자료는 건설교통부와 기상청 관할 관측소를 이용하여 구축하였다. 모형의 매개변수는 수치표고모델, 토지피복도, 토양도 등의 GIS 자료를 이용하여 산정하고 산정이 어려운 매개변수는 관측유량자료를 이용하여 수동보정하였다.

표 1은 댐 유역별 전체 자료기간과 검·보정기간을 나타낸 것이다. 매개변수 보정기간은 유역의 자료기간을 고려하여 홍수기와 갈수년이 포함되도록 고려하여 결정하였다.

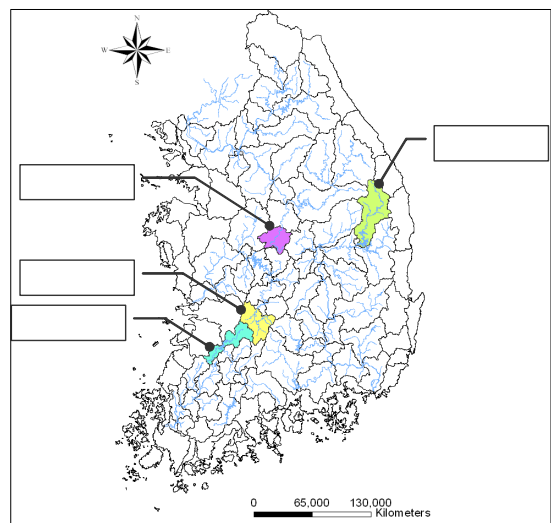


그림 2. 대상유역 현황

표 1. 대상유역의 검·보정 기간

| 댐유역명 | 전체자료기간 | 보정기간 | 검정기간 |
|------|-----------|-----------|-----------|
| 괴산댐 | 1982-2005 | 1996-2005 | 1982-1995 |
| 안동댐 | 1977-2005 | 1996-2005 | 1977-1995 |
| 용담댐 | 2001-2005 | 2003-2005 | 2001-2002 |
| 섬진강댐 | 1975-2005 | 1996-2005 | 1975-1995 |

표 2는 4개 댐지점에 대해 통계치 결과를 제시한 것이다. 통계지표는 유출용적오차(VE), 평균 제곱근오차(RMSE), 상관계수(C-CORR), 모형효율성계수(ME)를 채택하였다. 통계값 산정 결과 섬진강댐 유역의 유출모의결과 정확도가 다른 유역에 비해 상대적으로 낮으나 대체로 모든 유역에서 보정 및 검정기간에 대해 관측유량에 높은 적합성을 나타내었다.

그림 3은 2001~2005년 기간에 대해 일유출량 모의결과와 관측유량을 나타낸 것이다. 도식적 결과 검정에서도 모의결과가 관측유량에 근접한 것을 확인할 수 있다.

표 2. 검·보정지점에 대한 일유출량 통계치 결과

| 대상 유역 | 보정기간 | | | | 검정기간 | | | |
|-------|-------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
| | VE | RMSE | C-CORR | ME | VE | RMSE | C-CORR | ME |
| 괴산댐 | -1.82 | 2.72 | 0.91 | 0.82 | -7.71 | 3.00 | 0.88 | 0.74 |
| 안동댐 | -3.61 | 3.04 | 0.90 | 0.78 | -9.48 | 2.32 | 0.85 | 0.72 |
| 용담댐 | -5.40 | 4.59 | 0.90 | 0.76 | -15.44 | 3.61 | 0.86 | 0.73 |
| 섬진강댐 | 9.69 | 5.06 | 0.76 | 0.57 | 20.35 | 3.80 | 0.78 | 0.59 |

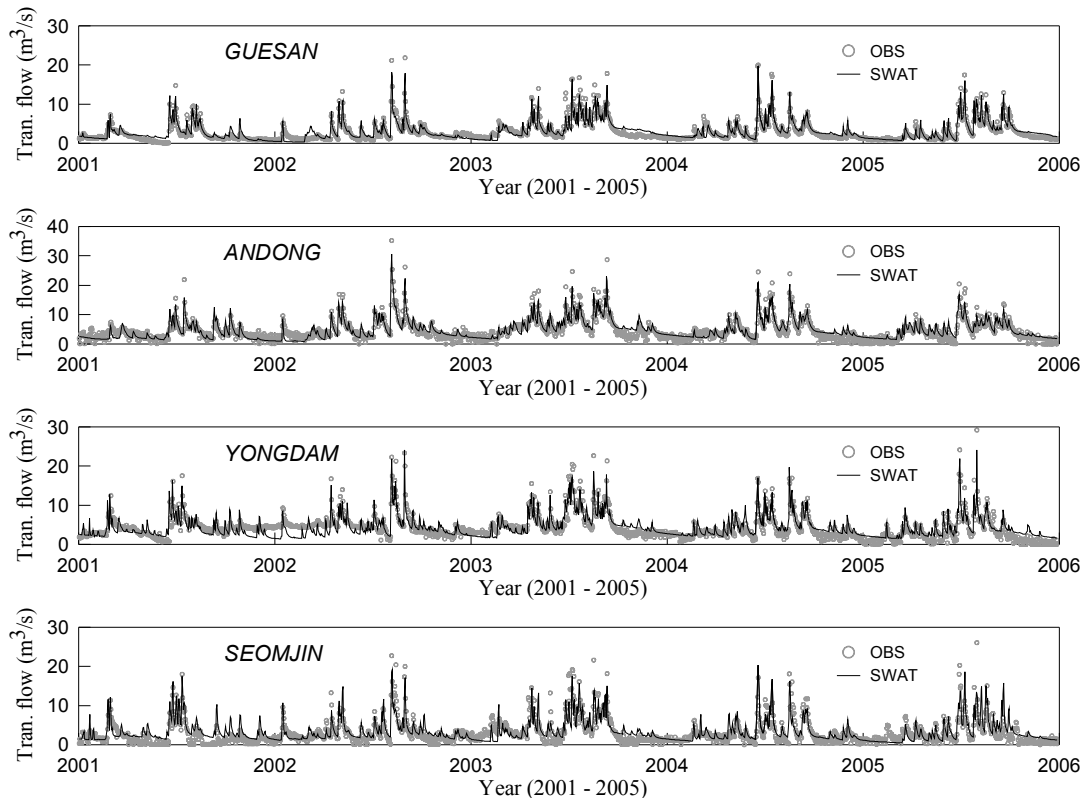


그림 3. SWAT 모형의 일유출량 모의결과

4. 기온변화에 대한 수문성분 분석

본 연구의 목적은 기온 증가에 따른 수문성분의 변화량을 분석하고자 하는 것이다. 기온 변화량(ΔT °C)은 +1°C, +3°C, +5°C의 3가지 경우를 가정하였으며 기온 변화를 고려한 가상 시나리오인 앞서 매개변수 검·보정에 사용된 일 최소/최대 기온자료에 기온 변화량을 고려하여 구축하였다.

앞서 매개변수 검·보정 과정에서 추정된 매개변수를 동일하게 적용하여 가상 시나리오별 4개 대상유역에 대한 유출분석을 수행하였다. 수문성분은 유출량에 가장 큰 부분을 차지하고 있는 지표면유출량(Qsur), 토양층내 측방흐름(Qlat), 지하수유출량(Qgw), 실제증발산량(ET)을 선정하였다. 여기서 제시된 수문성분은 SWAT 모형 내에서 산정된 값으로서 모형 구조 특성이 반영된 값이다.

그림 4는 기온 증가에 대한 수문성분 변화량을 도시한 것이다. 우선, 기온 증가에 따라 증발산량의 증가와 지표면유출과 지하수유출이 감소하는 경향을 보이며 측방흐름은 기온 증가에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 측방흐름이 기온과 무관하게 나타나는 이유는 다음과 같다. SWAT 모형은 토양수를 포장용수량(field capacity)과 영구위조점(wilting point)을 경계로 중력수, 모관수, 흡착수로 구분한다. 또한 측방흐름은 포장용수량을 초과하는 중력수에 해당하는 양으로 토양내에서 거동하게 된다. 따라서 모형내에서 측방흐름은 증발산량에 직접적인 영향을 받지 않게 된다.

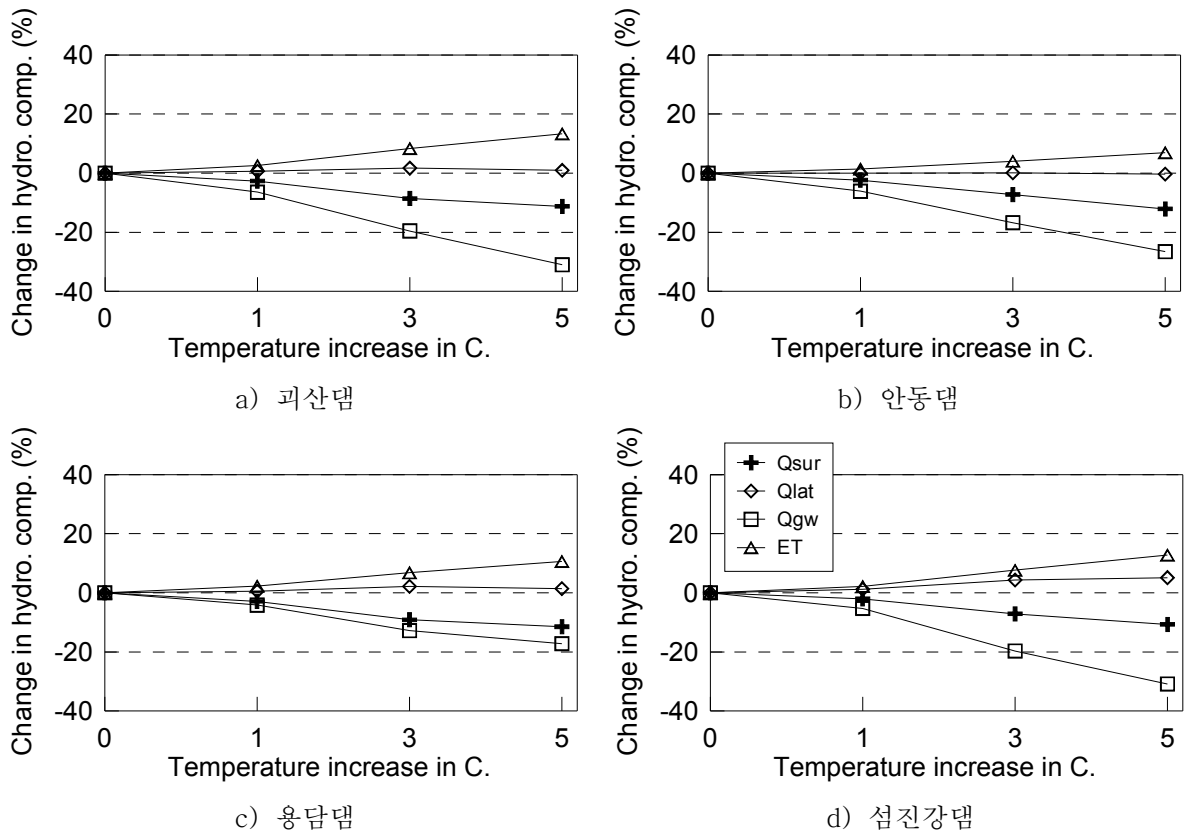


그림 4. 기온 증가에 따른 수문성분 변화량 분석

수문성분 변화 정도는 대상유역에 따라 정도의 차이는 있으나, 지하수 유출량의 변화량이 가장 크며 기온이 5°C 증가함에 따라 -17.22~-31.04% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 지표유출량은 -10.71%~-12.11% 감소하고 실제증발산량은 +6.93%~+13.37% 증가하는 것으로 나타났다.

5. 결론

기후변화는 이미 많은 과학자들에 의해서 전 세계적으로 진행되고 있음이 밝혀져 왔으며 가장 확실한 증거중 하나는 기온 증가라고 할 수 있다. 따라서 수자원 관리 측면에서 기온 증가에 따른 유역의 수문성분 변화량을 파악하는 것은 매우 중요하다고 하겠다.

본 연구에서 수행된 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 우리나라의 기온변화를 분석하기 위해 자료 가용년도가 30년(1975~2004년) 이상인 52개 기상청 관할 기상관측소로부터 일평균기온자료를 수집하고, 연평균기온의 경향성 분석을 수행하였다. 우리나라의 기온은 평균 0.03°C/year 증가하는 것으로 나타났다.

둘째, SWAT 모형을 괴산댐, 안동댐, 용담댐, 섬진강댐의 4개 댐 상류유역에 대해 적용하여 매개변수 검-보정을 수행하였다. 도식적 평가와 통계적 평가에서 모의 일유량은 관측 일유량에 대해 적합도가 높은 것으로 나타났다.

셋째, 기온 증가에 따른 유출수문성분의 변동성을 평가하기 위해 기온 변화량 1°C, 3°C, 5°C를 적용한 가상 시나리오를 구축하여 적용하였다. 기온 증가에 대해 지하수유출의 변동성이 30% 이내로 가장 크고 지표유출량과 증발산량도 20% 이내의 변동성을 보였다. 또한 토양내 측방흐름은 기온 증가에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

이상의 연구결과는 기후변화를 고려한 유역 단위의 수자원 관리 측면에서 거시적인 계획 수립 시 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감 사 의 글

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

참 고 문 헌

과학기술부(2007). **기후변화에 의한 수자원 영향평가 체계 구축**, 수자원의 지속적 확보기술개발사업, 연구보고서.

IPCC(2007). "Climate Change 2007: The Scientific Basis, Summary for Policy Makers." Cambridge University Press, Cambridge.