

미래 기후변화에 따른 용설의 변화가 유역수문에 미치는 영향 - 소양강댐, 충주댐 유역 -

Snowmelt Impact on Watershed Hydrology Using Climate Change Scenarios
- Soyanggang-dam and Chungju-dam Watersheds -

신형진* · 강수만** · 권형중*** · 김성준****

Shin, Hyung Jin · Kang, Su Man · Kwon, Hyung Joong · Kim, Seong Joon

* 건국대학교 일반대학원 사회환경시스템공학과 박사과정, shjin@konkuk.ac.kr

** 건국대학교 일반대학원 지역건설환경공학과 석사과정, cetop98@konkuk.ac.kr

*** 건국대학교 일반대학원 지역건설환경공학과 박사후 연구원, kwonhj@konkuk.ac.kr

**** 건국대학교 생명환경과학대학 사회환경시스템공학과 부교수, kimsj@konkuk.ac.kr

Abstract

The objective of this study is to evaluate snowmelt impact on watershed hydrology using climate change scenarios on Soyanggang-dam and Chungju-dam watershed. SLURP model was used for analyzing hydrological changes based on climate changes. The results (in years 2050 and 2100) of climate changes scenarios was CCCma CGCM2 of SRES suggested by IPCC and the snow cover map and snow depth was derived from NOAA/AVHRR images. The model was calibrated and verified for dam inflow data from 1998 to 2001.

Key word : Snowmelt, SLURP, NOAA/AVHRR, Climate Change

1. 서론

지구온난화로 인한 기후패턴의 변화는 기온의 상승, 강수패턴의 변화, 증발산량의 증가 및 유출의 계절적 변동 등을 초래하여 미래의 수문 순환과정은 과거와는 다른 양상으로 변화될 수 있다. 우리나라의 경우, 여름철에 집중된 강우의 변화에 치중하여 기후변화가 수자원에 크게 영향을 줄 것이라고 일반적으로 생각할 수 있겠으나, 기후변화에 따른 겨울철의 적설 및 용설이 유역수문에 미치는 영향 또한 현재 유역이 가지는 수자원 부족량 및 댐 유입량을 크게 변화시켜, 댐관리 및 운영에 크게 영향을 줄 가능성이 있다. 그 동안의 유역수문 연구들은 용설에 의한 유출을 제대로 고려하지 못하여 왔다. 특히 북동부 산악지역에서의 봄철 용

설영향은 당해 년의 수자원관리 및 운영에 큰 영향을 주는 인자로 작용하게 된다. 따라서 미래의 기후변화에 의한 국내 수자원의 계절적 변화를 정확하게 평가하기 위해서는 용설을 고려하는 장기 유출모형을 이용하여 기후변화가 유역의 용설 유출량과 수자원에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다. 최근, 임혁진 등 (2004)은 소양강 유역을 대상으로 SLURP 모형을 이용하여 용설과 관련된 매개변수를 이용하여 유출 분석을 한 바 있다. Kite 등(1994)은 Machenzie 유역의 CCC GCM2 자료를 사용하여 하천유량의 변화를 분석하였다.

본 연구에서는 소양강댐 유역과 충주댐 유역을 대상으로 하여, 기후변화에 의한 수문변화를 모의하기 위한 목적으로 개발된 준분포형

장기 유출해석 모형인 SLURP (Semi-distributed Land Use-based Runoff Process) 모형을 이용하여 기후변화에 따른 용설의 변화를 분석하고자 한다.

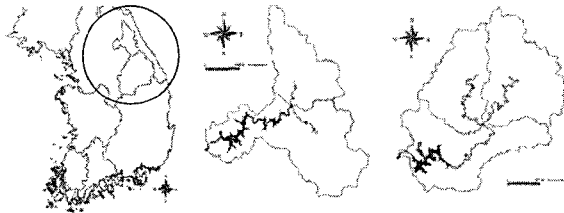
2. SLURP 모형의 개요

SLURP 모형은 미육군공병단에서 SSARR 모형과 같은 복잡한 모형의 대안으로서 캐나다의 중·대규모유역에 사용하기 위하여 1975년에 처음 Simple Lumped Reservoir Parametric으로 개발되었으며 이후 준분포모형으로 발전되었다. SLURP 모형은 강수사상을 강우사상과 강설사상으로 분리하여 모의함으로써 용설에 대한 수문특성을 반영한다.

3. 대상유역 및 자료구축

3.1 대상유역개요

본 연구의 대상 지역은 북동부 산악지역에 위치한 용설에 의한 유출이 영향을 받는 소양강댐 유역 면적은 2,703km² 충주댐 유역면적은 6,661km²이다 (그림 1).



〈그림 1〉 대상유역 : 소양강댐, 충주댐 유역

3.2 SLURP 모형의 입력자료 구축

대상지역의 지상기상관측자료는 최고·최저·평균온도, 강수량, 이슬점온도, 풍속, 일조시간, 상대습도, 적설량이며 1998년 1월 1일부터 2001년 12월 31일까지의 기상자료를 입력하였다. 수문자료는 소양강댐, 충주댐의 일 단위 댐 유입량 자료를 사용하였다.

IPCC에서 제시되고 있는 기후변화시나리오는 IS92a와 SRES 시나리오가 있다. 현재 IPCC의 정보분배센터(Data Distribution Center)에서는 기후변화에 의한 일관된 영향연구를 위해 IS92a 및 SRES 시나리오에 의한 다수의 GCMs 결과들을 제공하고 있다. 기후

변화 시나리오는 2002년 사회, 경제, 환경 등을 고려한 4가지 골격의 온실가스배출시나리오로 크게 A-B축(경제지향-환경지향), 1-2축(지구주의지향-지역주의지향)으로 분류된다. 본 연구에서는 SRES 특별보고서에서 제안된 A2, B2 시나리오의 CCCma CGCM2 모의 결과값을 사용하여 유출의 영향을 알아보고자 2050년, 2100년의 기상자료와 용설의 영향을 고려하기 위해 snow water content를 획득하여 입력하였다. DEM은 지형 및 지표면의 특성을 분석함으로써 지형적 매개변수를 결정하는 방법으로 이용된다. 1:5,000 NGIS 수치지도를 사용하여 DEM을 구축하였다. 1998년부터 2002년까지의 NOAA/AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration/ Advanced Very High Resolution Radiometer) 위성영상으로부터 구한 토지피복별 NDVI를 이용하여, 기온-NDVI의 선형회귀식을 통해 각 토지피복별 NDVI를 추정하여 입력자료로 사용하였다. 기온과 NDVI의 단순회귀방정식을 통해 산출된 선형방정식을 토대로 향후 50년, 100년의 CCCma CGCM2 일 평균기온을 사용하여 예측하였다. 용설관련 주요 매개변수의 추정은 장기적인 유출모형 분석시 용설과 관련된 매개변수를 추정하는 하나의 기법으로서, NOAA/AVHRR 위성영상 자료와 GIS의 표면내삽기법을 이용하여 적설분포지역 및 적설심을 추출하였다. 지표면의 적설분포 지역의 추출을 위해 NOAA 위성에 탑재되어 있는 AVHRR 센서의 5개 채널 중 눈, 얼음, 구름, 지표면과 연관성을 가지고 있는 1번, 3번, 4번의 3개 채널을 사용하였다. 지상기상관측자료는 일별 최심 적설심자료를 사용하였다.

4. 모형의 적용

4.1 모형의 검·보정과 매개변수 결정

본 연구에서는 1998, 2000, 2001 3년간의 유출량 자료를 이용 모형을 보정하였다. 모형의 검증은 보정 매개변수의 평균값들을 통해 1999년 유출량을 모의 하였다. 그 결과 경향이 잘 반영하고 있다. SLURP 모형의 매개변수 최적화를 위해 민감도분석과 SCE-UA 최적화기법(Duan 등, 1994)을 이용하였으며 매개변수추정

의 최적화 척도로 Nash-Sutcliffe (Nash와 Sutcliffe, 1970) 모형효율을 사용하였다 (표1, 2).

〈표 1〉 소양강댐 유역 모의 결과 정리

Year	Observation		Simulation		Statistical summary			Note
	Precipitation (mm)	Streamflow (mm)	Precipitation (mm)	Streamflow (mm)	RMSE	coefficient variation	Nash-sutcliffe	
1998	1770	1093	1453	1018	0.36	2.02	0.83	C
2000	1282	700	1271	733	0.49	2.87	0.73	C
2001	1090	538	979	524	0.59	3.36	0.68	C
1999	1778	1139	1636	1187	0.62	4.18	0.60	V

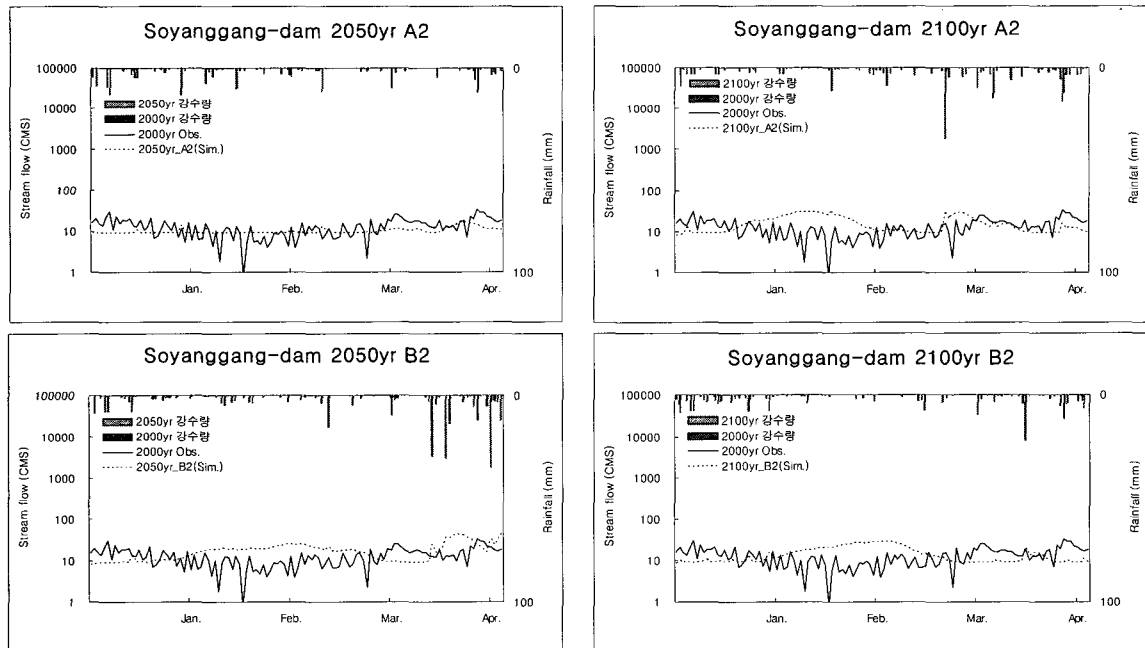
〈표 2〉 충주댐 유역 모의 결과 정리

Year	Observation		Simulation		Statistical summary			Note
	Precipitation (mm)	Streamflow (mm)	Precipitation (mm)	Streamflow (mm)	RMSE	coefficient variation	Nash-sutcliffe	
1998	1743	1075	1964	1199	0.41	2.33	0.83	C
2000	1331	678	1097	564	0.40	2.77	0.84	C
2001	908	337	830	337	0.41	1.93	0.52	C
1999	1703	913	1628	823	0.35	3.14	0.84	V

4.2 기후변화를 통한 유출량분석 (2050, 2100yr)

CGCM2 모의 결과값을 통해 대상 유역의 2050년, 2100년 유출량을 모의하였다. 모의 결과 A2와 B2 시나리오 모두 3월에서 4월 사이의 유출량의 변화가 두드러지게 나타나고 있는

데 대상유역이 북동부산악지역에 위치하고 있어 용설의 영향이 반영된 것으로 보여진다. SLURP의 경우 중대규모유역의 용설의 영향을 평가할 수 있게 설계된 수문모형으로 강수를 강우와 강설로 나누어 모의하게 되는데 기후변화에 따라 일 평균기온이 증가함으로써 적설이



〈그림 2〉 소양강댐 유역 2050, 2100년 A2, B2 모의

용설로 변화하는 시간간격이 짧아지면 적설 및 용설의 양이 반영된 것으로 판단된다 (그림 2, 용설분포면적이 감소되고 3월에서 4월 사이에 표 3).

<표 3> 기후변화 시나리오에 의한 모의 결과

Year		Precipitation (mm)	Sim. p. (mm)	Streamflow (mm)	Snowmelt (mm)	Runoff rate (%)
소양강댐 유역	2000 Obs.	92	92	51	88	55
	2050 A2	95	87	58	83	66
	2050 B2	222	204	70	86	34
	2100 A2	171	157	61	68	39
	2100 B2	130	119	56	78	47
충주댐 유역	2000 Obs.	117	164	49	77	30
	2050 A2	94	89	68	85	76
	2050 B2	219	208	81	141	40
	2100 A2	169	161	82	125	51
	2100 B2	129	122	68	120	56

5. 결론

소양강댐, 충주댐 유역을 대상으로, 준분포형 장기유출모형인 SLURP 모형을 이용하여 기후변화 시나리오 CCCma 및 CGCM2 에 의한 수문변화를 모의하고자 하였다.

1. 모형의 검보정을 위한 용설관련 주요 매개변수인 적설분포와 적설심은 각각 NOAA/AVHRR 위성영상과 지상기상관측소의 적설심자료를 이용하여 추정하였다.
2. 3월과 4월의 용설에 의한 실측댐유입량과 모의된 댐유입량이 잘 모의되는 것을 확인하였다.
3. A2와 B2 시나리오 모두 겨울철의 적설량은 현재와는 달리 기온의상승으로 단기간에 용설로 전환되어 3월과 4월의 댐유입량을 크게 증가시키는 것으로 나타났다.
4. 유역전체의 댐유입율은 2000년의 55%에서 2100년에는 A2시나리오의 경우 34%, B2시나리오의 경우 32%로 감소하는 것으로 나타나 미래의 댐유입량의 계절별 감소에 대한 수자원계획 및 댐운영의 대비가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연

구비지원(과제번호 : 1-9-2)에 의해 수행되었습니다.

<참고 문헌>

- Duan, Q., Sorooshian, S.S., and Gupta, V.K. (1994). "Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models." *Journal of Hydrology*, Vol. 158, pp. 265-284.
- Kite, G. W., Dalton, A., and Dion, K. (1994). "Simulation of streamflow in a macroscale watershed using general circulation model data.", *Water Resources Research*, Vol. 30(5), pp. 1547-1559.
- Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V., 1970, "Rever flow forecasting through conceptual model; Part 1 - A discussion of principles." *Journal of Hydrology*, Vol. 10(3), pp. 282-290.
- 입혁진, 권형중, 장철희, 김성준 (2004). "SLURP 모형을 이용한 유출수문분석 : 소양강댐 유역을 대상으로", 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, Vol. 37(8), pp. 631-641.