

CA-Markov 기법을 이용한 기후변화에 따른 소양강댐유역의 수문분석

임혁진¹, 권형중¹, 김성준¹, 김진호²,

¹건국대학교 사회환경시스템공학과, ²농업과학기술원 환경생태과

Analysis of hydrological impact using climate change scenarios and the CA-Markov technique on Soyanggang-dam watershed

H. J. Lim¹, H. J. Kwon¹, S. J. Kim¹, and J. H. Kim²

¹Department of Rural Engineering, Konkuk University

²Division of Environment & Ecology, National Institute of Agricultural Science and Technology

(Correspondence : kimsj@konkuk.ac.kr)

1. 서 언

댐, 하천 그리고 유역간의 원활한 이·치수를 위한 수리 구조물과 운영과정, 수로 건설 및 하천정비, 산지개간, 도시화 등의 유역개발 등은 수문환경에 큰 영향을 미치게 된다. 이런 인위적인 수문환경의 변화와 더불어 지구온난화에 따른 기온의 상승, 강수패턴의 변화, 증발산량의 증가 및 유출의 계절적 변동 등과 같은 기후변화는 미래의 수문순환 과정은 과거와는 다른 양상으로 변화될 수 있음을 직접 또는 간접적으로 보여주고 있다. 특히 우리나라는 그동안 매년 발생하는 봄가뭄, 몬순기후에 의한 장마시기, 그리고 가을 태풍에 의한 호우동반 등의 기상 사이클에 의존하는 지표수 위주의 수자원 개발과 관리에 의존하여 왔는데, 이는 향후 작은 기후변동으로도 심각한 수자원 문제를 발생시킬 수 있는 위험에 노출될 가능성이 높다고 판단된다. 따라서 기후변화에 따른 수문환경의 변화가 유출에 미치는 영향을 정량적으로 평가하여 수문분석 및 예측을 통해 수자원의 장기적인 계획수립에 검토되어야 할 것이다. 본 연구에서는 장기적인 기후변화가 수자원에 미치는 영향을 유출측면에서 정량적으로 평가하기 위한 것이다.

2. 재료 및 방법

기후변화가 수자원에 미치는 유출측면에서의 영향을 평가하기 위해서 IPCC 에서 제시하고 있는 SRES 시나리오의 CCCma CGCM2 기후모형의 모의 결과값을 수문기상자료로 사용하여 SLURP 수문모형에 적용하여 기후변화에 따른 장기적인 유출영향을 분석하고자 한다. 미래에 유출의 변화에 지배적인 인자로 작용하는 토지이용현황을 CA-Markov 연쇄기법을 통하여 Landsat TM 위성영상으로부터 얻은 1985년부터 2000년까지의 토지피복도를 사용하여 2050년과 2100년의 토지피복도를 작성하였다. 기후변화에 따른 식생이 수문환경에 미치는 영향을 해석하고자 1998년부터 2002년 정규식생지수(NDVI)를 사용하여 FAO Penman-Monteith 증발산량산정기법을 통해 증발산량을 평가하였으며, 기온-NDVI의 선형회귀식으로부터 CGCM2의 모의 월평균기온값을 사용하여 각 토지피복별 향후 2050년, 2100년의 NDVI를 모의하였다. 또한, 가상시나리오를 적용하여 증발산량에 영향을 미치는 기온, 일사량, 풍속의 변화량과 증발산량의 관계를 분석하였다.

2.1 CA-Markov 연쇄기법에 의한 토지피복도 작성

CA-Markov 연산기법에 대한 국내 유역의 적용성을 평가하기 위하여 1985년, 1990년 및 1995년 자료를 관측자료로 사용하여 2000년 현재의 토지피복도를 모의하여 각각의 시간간격을 통해 비교·검증을 통해 향후 50년 100년 기간의 토지이용변화를 모의하였다 (Fig. 1).

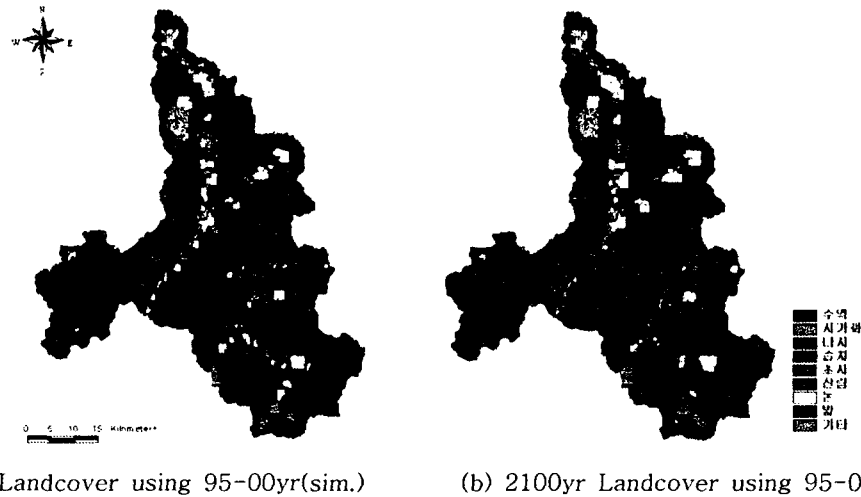


Fig. 1 Comparison simulated 2050yr and 2100yr landuse using CA-Markov technique during 5yr time period

Table 1. Comparison simulated 2050yr and 2100yr landuse using CA-Markov technique (during 5yr)

Description (km ²)	1995yr (Obs.)	2000yr (Obs.)	2050yr (Sim.)	RMSE	2100yr (Sim.)	RMSE
Water (%)	67.71 (2.5)	67.71 (2.5)	67.71 (2.5)	0.00 (0.0)	67.71 (2.5)	0.00 (0.0)
Urban (%)	11.90 (0.4)	15.22 (2.5)	50.58 (1.9)	35.36 (232.3)	51.09 (1.9)	35.87 (235.7)
Bareground (%)	11.51 (0.4)	8.55 (2.5)	21.55 (0.8)	13.00 (152.0)	21.55 (0.8)	13.00 (152.0)
Wetland (%)	0.12 (0.0)	1.44 (2.5)	5.88 (0.2)	4.44 (308.3)	6.38 (0.2)	4.94 (343.1)
Grassland (%)	11.83 (0.4)	13.71 (2.5)	46.58 (1.7)	32.87 (239.8)	45.61 (1.7)	31.90 (232.7)
Forest (%)	2,457.03 (91.2)	2,469.75 (2.5)	2,141.59 (79.5)	-328.16 (-13.3)	2,141.31 (79.5)	-328.44 (-13.3)
Paddy (%)	60.64 (2.3)	47.67 (2.5)	136.83 (5.1)	89.16 (187.0)	137.97 (5.1)	90.30 (189.4)
Uplandcrop (%)	73.61 (2.7)	70.30 (2.6)	223.63 (8.3)	153.33 (218.1)	222.73 (8.3)	152.43 (216.8)
Total	2,694.35	2,694.35	2,694.35	2,694.35	2,694.35	2,694.35

2.2 정규식생지수 NDVI

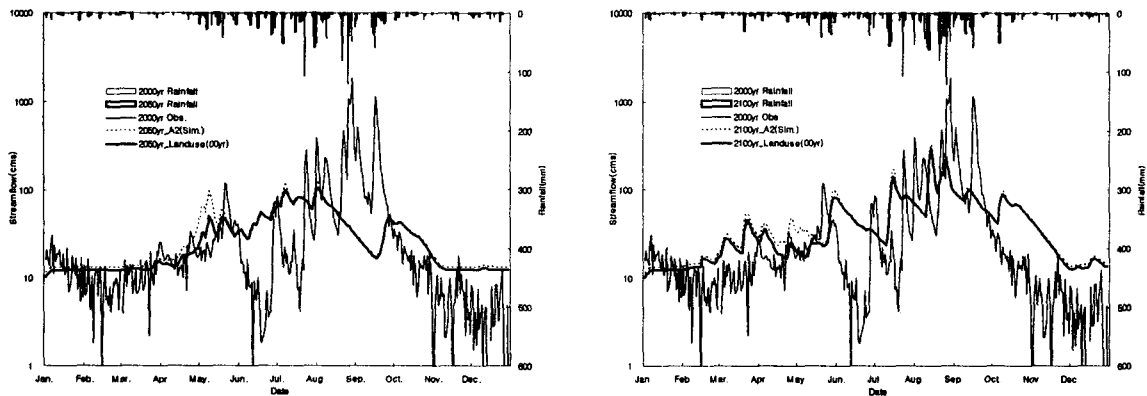
증발산 현상은 여러 가지 기상요소 등에 의해 지배되며 특히, 기온, 일사량 등의 가상 조건은 식생에 지배적인 영향을 주고 있다. 어느 지점의 NDVI가 그 지점의 식생상태를 잘 표현하고 있다는 것은 일반적으로 입증된 사실이다. 따라서 식물의 활력도를 나타내는

지표인 정규식생지수(NDVI)는 기온과 일사량의 기상조건에 강한 상관관계가 있을 것으로 생각할 수 있다. 본 연구에서는 NDVI와 월평균 기온과의 변동양상에 중점을 두어 기온-NDVI의 선형회귀식을 통해 각 토지피복별 NDVI를 추정하여 입력자료로 사용하였다.

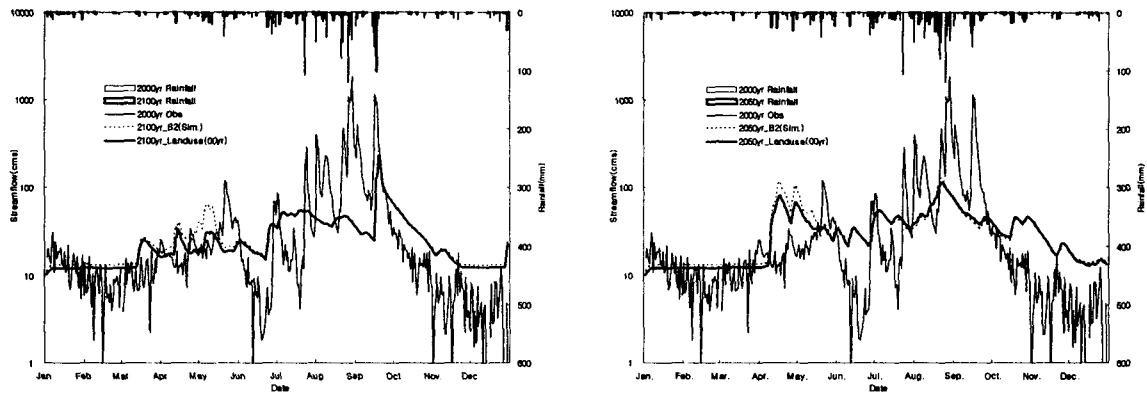
3. 결과 및 고찰

3.1 기후변화를 통한 유출량분석(2050, 2100yr)

CA-Markov 연쇄기법을 사용하여 5년 시간단위의 토지피복도를 사용하여 구축된 2050년, 2100년의 토지피복도와 Landsat TM 위성영상을 이용하여 작성된 2000년 토지이용도를 사용하여 토지이용변화가 현재와 동일하다고 가정하고 분석한 결과와의 비교하였다(Fig. 2).



(a) Comparison SRES_A2 simulated result with observed streamflow using 2000yr landcover in 2050yr. (b) Comparison SRES_A2 simulated result with observed streamflow using 2000yr landcover in 2100yr.



(c) Comparison SRES_B2 simulated result with observed streamflow using 2000yr landcover in 2050yr. (d) Comparison SRES_B2 simulated result with observed streamflow using 2000yr landcover in 2100yr.

Fig. 2 Comparison SRES simulated result with observed streamflow using 2000yr landcover

3.2. 가상시나리오(기상적측면)에 의한 증발산량 평가

증발산량에 영향을 주는 인자를 기상요소 국한해서 해석함으로써 향후 기후변화에 따른 증발산량을 변화율을 알아보고자 하였다. 각각의 기상인자 일 평균기온(°C), 일조시간

(hr), 풍속(m/s)에 대하여 1%, 3%, 5%의 증가율을 통해 증발산량을 모의하였다(Table 3). 모의 결과 일 평균기온에 가장 민감한 유출의 변화율을 보이고 있다.

Table 2 Comparison simulated results with observed discharge about SRES

Description		Simulation				
Year		P(mm)	Adjusted P(mm)	Q(mm) RMSE(%)	QR(%)	ET(mm)
Obs.	2000	1,282.0	1,124.0	700.0	54.60	486.6
A2	2050_C	794.8	671.1	380.4(45.66)	47.91	338.6
	2050_L	794.8	665.0	352.4(49.66)	44.34	311.4
	2100_C	1,159.0	976.8	559.1(20.13)	48.24	335.4
	2100_L	1,159.0	970.7	525.0(25.00)	45.30	306.7
B2	2050_C	904.7	764.7	398.7(43.04)	44.07	382.1
	2050_L	904.7	757.8	383.2(45.26)	42.36	331.3
	2100_C	716.6	642.0	353.8(49.46)	49.37	339.3
	2100_L	716.6	638.0	328.7(53.04)	45.87	310.2

note) P : Precipitation, Q : Runoff, QR : Runoff rate, ET : Evapotranspiration, C : predicted landcover map using CA-Markov, L:simulated using present 2000yr landcover map

Table 3 Summary of simulated Evapotranspiration scenarios

Description		Rainfall	Runoff	EP	Statistical summary			
		Obs./Sim.(mm)	Obs./Sim.(mm)	ET(mm)	RMSE	Coeff. variation	Nash-sutcliffe	WMO Ratio
Base	2000yr	1,282.0/1,124.0	700.0/710.8	486.6	1.55	2.87	0.77	0.02
Temp. (°C)	TCase_A	1,282.0/1,073.0	700.0/585.6	553.0 (13.65)	-1.63	2.87	0.66	-0.16
	TCase_B	1,282.0/1,073.0	700.0/492.5	767.5 (57.73)	-2.96	2.87	0.54	-0.30
	TCase_C	1,282.0/1,073.0	700.0/411.3	989.5 (103.35)	-4.12	2.87	0.39	-0.41
Sun (hr)	SCase_A	1,282.0/1,073.0	700.0/636.2	442.1 (-9.15)	-9.12	2.87	0.69	-0.09
	SCase_B	1,282.0/1,073.0	700.0/631.7	460.3 (-5.40)	-9.75	2.87	0.69	-0.10
	SCase_C	1,282.0/1,073.0	700.0/628.4	469.6 (-3.49)	-1.02	2.87	0.69	-0.10
Wind (m/s)	WCase_A	1,282.0/1,073.0	700.0/614.8	481.2 (-1.11)	-1.22	2.87	0.68	-0.12
	WCase_B	1,282.0/1,073.0	700.0/614.0	484.9 (-0.35)	-1.22	2.87	0.68	-0.12
	WCase_C	1,282.0/1,073.0	700.0/636.5	452.6 (-6.99)	-9.07	2.87	0.69	-0.09

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원 (과제번호 : 1-9-2)에 의해 수행되었습니다. 본 연구에서 사용된 DEM 및 토지피복도는 한국수자원공사의 지원을 받아 수행된 □□한강 유역조사□□과업의 결과물이며, 이에 감사드립니다.

인용문헌

Kite, G. W., A. Dalton, and K. Dion, 1994: Simulation of streamflow in a macroscale watershed using general circulation model data. *Water Resources Research* 30, 1547-1559.

김병식, 김형수, 서병하, 김남원 2004: 기후변화가 용담댐 유역의 유출에 미치는 영향, 한국수자원학회지 37, 185-193.

임혁진, 권형중, 장철희, 김성준 2004: SLURP 모형을 이용한 유출수문분석 : 소양강댐 유역을 대상으로”, 한국수자원학회지 37, 631-641.