

기후변화에 따른 다목적댐 저수지의 취약성 평가



이혜숙 |
K-water 선임연구원
yihs@kwater.or.kr

1. 개요

기후변화로 나타나게 될 댐 저수지의 수환경 변화에 대한 분석은 국가 수자원관리 측면에서 우선적으로 대비해야할 중요한 문제이며 정확한 분석과 취약성 평가가 필수적이라 할 수 있다. 하지만 아직까지 기후변화에 대응 및 적응을 위한 수자원, 수질 및 생태분야의 통합적 대책방안 수립에 대한 연구가 체계적으로 이루어지지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 기후변화로 인한 신뢰성이 있는 영향평가를 위해서 기후변화 시나리오의 상세화를 이용한 상세지역의 기후예측, 댐 유역 모형에서의 유출, 토사 및 오염물질예측을 통해 기후변화에 의한 다목적댐 취약성을 평가하고 대응방안을 도출하기 위한 자료로 활용하고자 한다.

2. 연구방법 및 연구내용

표 1. 연구방법 및 연구내용

연구방법	연구내용
기후변화 시나리오 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 27km MM5모델의 한반도 기후전망자료 A1B 시나리오 사용 - 강수, 상대습도, 최고온도, 최저온도, 평균온도에 대하여 다지점 인공신경망기법을 통한 월별 기후변화상세화 실시 - 예측된 강수량의 보정을 통계적으로 정상적인 분포가 유지될 수 있도록 하기 위해 Dynamic Quantile Mapping을 실시 - 과거 태풍의 통계적 특성을 반영하는 태풍모의값을 생성하기 위한 Stochastic Typhoon Simulation기법 적용 - 기후변수 별 미래 경향 분석
유역모델 구축	<ul style="list-style-type: none"> - SWAT모델을 이용하여 댐 유역모델 구축 - 댐 유역의 상류 유출 및 수질자료와 유역출구점의 댐 유입량 및 수질자료를 이용하여 다지점 검·보정 실시
기후변화 시나리오 적용	<ul style="list-style-type: none"> - 기후변화 상세화를 통해 생산된 기후변화 시나리오에 따른 유출 및 수질변화전망

3. 대상유역

총 7개 다목적댐 유역으로서 한강수계, 낙동강수계, 섬진강수계에 포함되어 있는 소양, 충주, 안동, 임하, 합천, 남강, 주암 다목적댐 유역을 대상으로 하였다.



그림 1. 다목적댐 유역 위치도

4. 연구방법

4.1 기후변화 시나리오 생산

국내 국립기상연구에서는 지역기후모형을 이용하여 GCM모의가 제공하는 모의해상도를 높여 활용하고 있다. 2002년 동아시아 주변의 기후변화 시나리오를 생산하고자 독일의 대기-해양 결합모델

인 ECHO-G를 도입한 후 이를 개선시켜 전지구 기후시나리오 자료를 생산하고 이 자료를 경제자료로 하여 미국의 MM5를 이용하여 130년간 (1971~2100)의 고해상도 지역기후시나리오를 생산하였다. 본 연구에서는 AR4 기반의 한반도 기후전망 모의자료(RCM)를 통해 이를 다시 수문학적 스케일로 통계적 상세화한 후 지역별 상세수문시나리오를 생산하여 미래 수질전망에 활용하고자 한다.

기후변화 상세화기법은 인공신경망 기법을 사용하였으며, 총 5개의 기상변수(강수, 상대습도, 최고 온도, 최저온도, 평균온도)에 대한 상세화를 실시하였다. 홍수기(5월~9월)와 비홍수기(10월~4월)의 신경망을 독립적으로 구성하였고, 이 중 강우와 습도의 경우 비선형성이 강해 일 누적값으로 강수의 변화와 발생빈도를 학습하기에는 다소 무리가 있으므로 월 누적값으로 변환하여 학습을 실시하였으며, 특히 강우의 경우 태풍에 의한 강우를 분리하여 신경 학습에 사용함으로써 학습 성과를 제고 시키고자 하였다. 또한 강우는 불확실성이 강한 기상변수로 인공신경망 기법만으로는 정확한 모의 결과를 나타내지 못하기 때문에 미래 예측 시 통계적으로 정상적인 분포를 유지하도록 하기 위해 Dynamic Quantile Mapping기법을 실시하고, 분리된 태풍에 의한 강우를 고려할 수 있도록 Stochastic Typhoon Simulation 기법을 적용하여 과거의 태풍강우의 통계적인 특성을 반영하는 태풍모의값을

표 2. 계절별 강우 추세분석(mm)

구분	Baseline(Obs) 1991~2010	Baseline(Sim) 1991~2010	2011~2040 (FFS)	2041~2070 (MFS)	2071~2100 (LFS)
충주댐	1445.4	1449.7(0.3%)*	1651.1(13.9%)**	1800.3(24.2%)**	1998.3(37.8%)**
소양강댐	1459.0	1452.6(-0.4%)*	1714.9(18.1%)**	1900.5(30.8%)**	2119.4(45.9%)**
안동댐	1245.2	1245.6(0.0%)*	1349.9(10.8%)**	1520.8(22.1%)**	1720.0(38.1%)**
임하댐	1103.2	1105.1(0.2%)*	1227.8(11.1%)**	1393.2(26.1%)**	1577.9(42.8%)**
합천댐	1324.3	1349.9(1.9%)*	1500.6(11.2%)**	1747.3(29.4%)**	1974.6(46.3%)**
남강댐	1474.6	1481.7(0.5%)*	1622.4(9.5%)**	1811.3(22.2%)**	2018.1(36.2%)**
주암댐	1501.6	1502.2(0.0%)*	1619.6(7.8%)**	1664.5(10.8%)**	1788.1(19.0%)**

* Baseline(Obs) 대비 Baseline(Sim) 증감률

** Baseline(Sim)대비 Period별 simulation 증감률

생성하여 최종적인 기후변화 시나리오를 생산하였다. 인공신경망의 학습기간은 1991~2005년, 검증기간은 2006~2010년, 예측기간은 2011~2100년이다. 최고 및 최저기온의 경우 계산 부하를 줄이기 위해 학습기간을 10년(1996~2005)으로 기간을 조정하였다.

미래 분석기간은 FFS (foreseeable future scenario, 2011~2040), MFS(mid-term future scenario, 2041~2070), LFS(Long-term future scenario, 2071~2100)으로 3개의 구간으로 설정하여 추세분석을 실시하였다.

4.2 유역모델 구축

유역 수문-수질모의를 위한 모형으로 미 농무성 농업연구소에서 개발한 SWAT모형을 선정하였으며, SWAT모형은 수문반응단위(HRU)를 고려한 물리적

기반의 준 분포형 장기 강우-유출 모형으로 도시지역의 유출과 농촌유역에서 장기간 동안의 비점오염 물질에 대한 농도변화가 가능하고 GIS와의 연계성 및 토지이용변화뿐만 아니라 기후변화에 따른 유출 및 수질변동의 영향을 모의하기에 적합한 모형이다.

표 3. 수문-기상-수질 자료목록

자료 종류		자료 형태
수문	유출량	유출량 (m ³ /sec)
	댐유입량	댐유입량 (m ³ /sec)
기상	강수량	일강수량(mm)
	온도	일 최고기온(°C), 일 최저기온(°C)
	태양복사량	태양복사량(MJ/m ²)
	풍속	일 평균풍속(m/s)
	상대습도	일 평균 상대습도(1/100%), (0~1.0)
	점오염원	환경기초시설
수질	부유물질 (SS)	부유물질 농도 (mg/L)
	총 질소 (T-N)	총 질소 농도 (mg/L)
	총 인 (T-P)	총 인 농도 (mg/L)
	BOD	생물학적산소요구량 (mg/L)

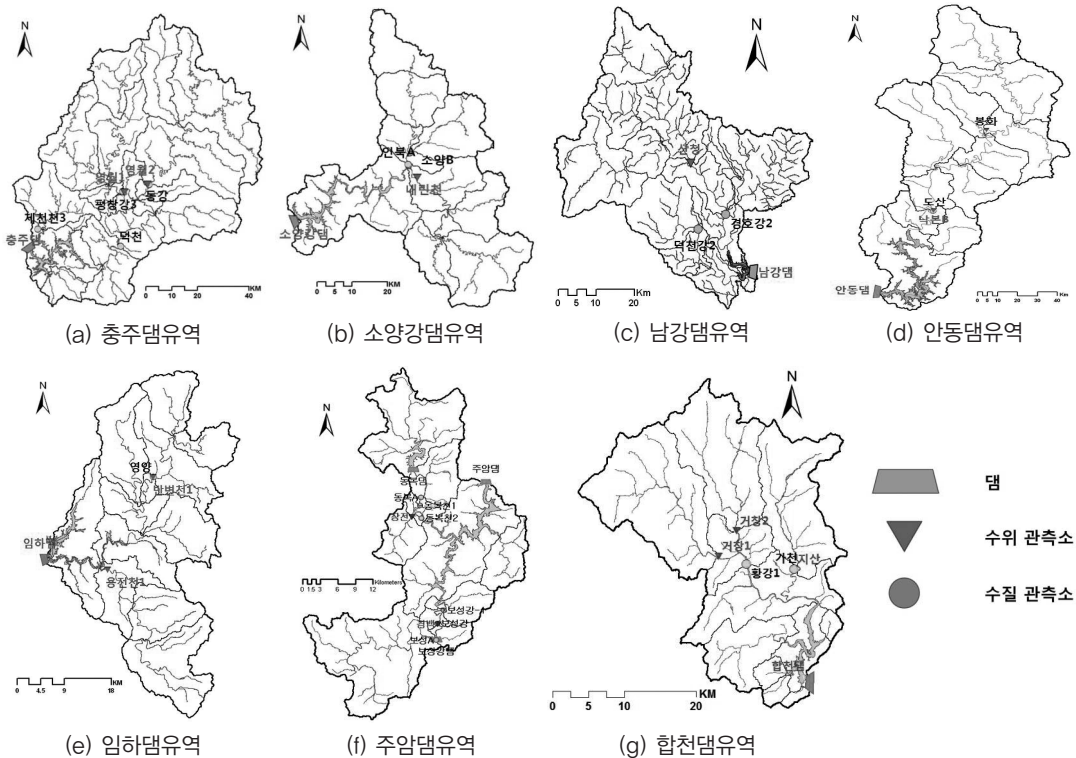


그림 2. 댐 저수지 유역별 수문-수질측정망

표 4. 유출 및 수질 검보정 결과

Dam	Station	Streamflow			Water Quality(R ²)		
		RMSE(mm/d)	R ²	NSE	SS	T-N	T-P
충주	영월1/동강	4.53	0.52	0.26	0.85	0.79	0.44
	영월2/평창강	3.86	0.59	0.31	0.52	0.52	0.20
	충주댐	4.20	0.64	0.60	-	-	-
	덕천	-	-	-	0.30	0.79	0.31
	제천천	-	-	-	0.48	0.72	0.24
소양강	내린천/내린천1	0.71	0.73	0.71	0.74	0.76	0.63
	소양강/인북천1	3.99	0.73	0.72	0.81	0.87	0.78
안동	도산	3.41	0.76	0.71	0.94	0.95	0.88
	안동댐	4.52	0.64	0.61	-	-	-
임하	영양	4.80	0.55	0.12	0.71	0.82	0.97
	임하댐	3.91	0.74	0.63	0.74	0.93	0.88
합천	황강	0.82	0.96	0.75	0.39	0.86	0.41
	지산	0.79	3.37	0.76	0.59	0.93	0.72
	합천댐	0.80	3.31	0.78	-	-	-
남강	산청	2.90	0.78	0.77	0.77	0.38	0.42
	남강댐	5.45	0.62	0.51	0.62	0.95	0.79
주암	장전수위표	-	-	-	0.36	0.35	0.42
	보성강댐/동북 A	6.20	0.60	-0.14	0.11	0.11	0.12
	검백수위표	-	-	-	0.47	0.47	0.14
	주암댐/보성 A	4.99	0.39	-1.28	0.32	0.32	0.40

4.3 기후변화 시나리오 적용

총 5개의 변수에 대하여 상세화를 통해 생산된 기후변화 시나리오를 SWAT모델의 입력자료로 사용하여 유출모의를 실시하고 미래 일 단위 유출량

산정에 다른 강우-유출 특성분석 및 물수지 분석, 수질분석을 수행하였다. 이 때, 미래토지이용 및 식생 등 유역에 대한 환경은 현재와 같다고 가정을 하고 연구를 수행하였으며, 오직 기후에 의한 수문-수질반응을 보고자 하였다.

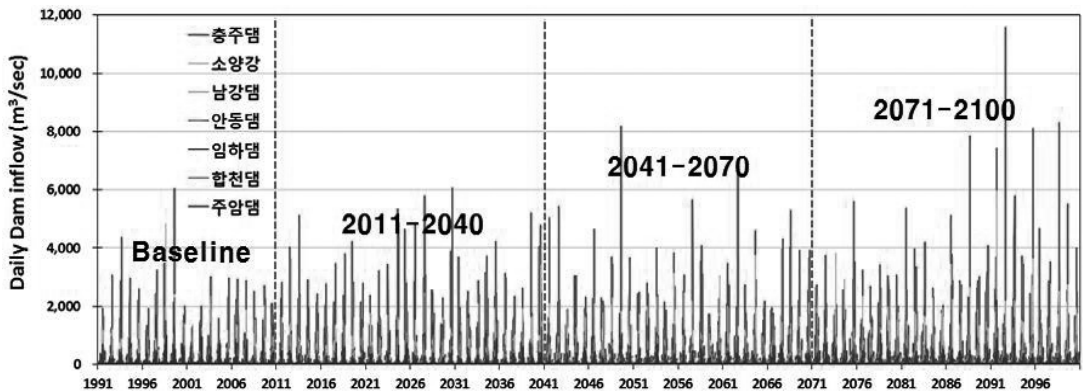


그림 3. 댐 저수지 유역별 댐 유입량 변화

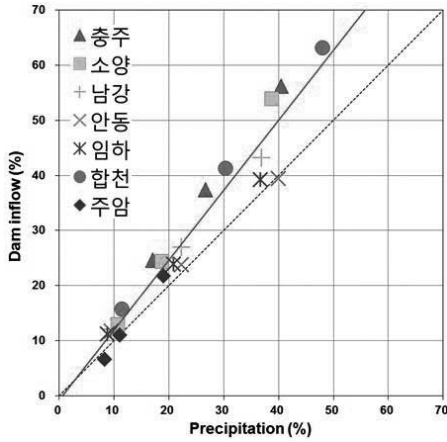


그림 4. 강수대비 댐 유입량 변화율

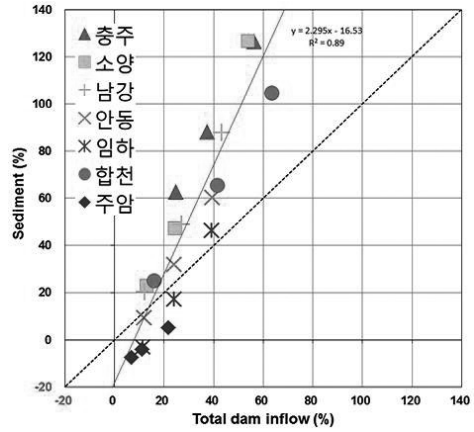


그림 5. 댐 유입량 대비 유사량 변화율

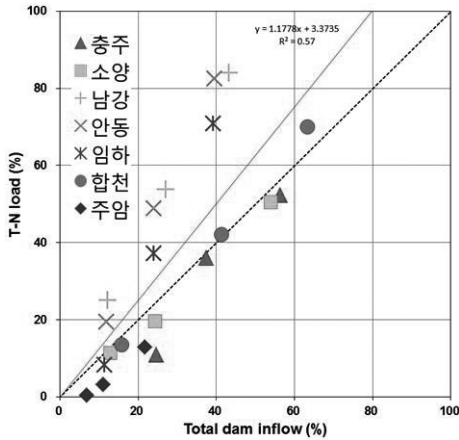


그림 6. 댐 유입량 대비 T-N 변화율

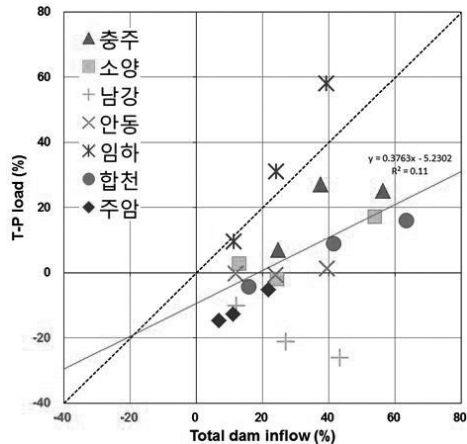


그림 7. 댐 유입량 대비 T-P 변화율

5. 맺음말

7개 댐 저수지 유역을 대상으로 미래 수문 및 수질전망을 위해 MM5 RCM기상변수인 강우, 습도, 최고온도, 최저온도, 평균온도를 사용하여 인공신경망기법을 통해 상세화된 기후변화 시나리오를 생산하였다. 생산된 기후변화시나리오는 SWAT모델의 입력자료로 사용하여 댐 유입량 및 수질전망을 실시하였다.

유출전망의 경우 미래 강우특성에 따라 댐 유입

량 역시 증가하는 추세를 보였으며, 수질전망의 경우에도 유사량 및 총인, 총질소 대부분 경우-유출 변화와 유사한 경향을 보이고 음을 확인할 수 있었다. 기후변화 시나리오를 통해 유출 및 수질을 전망함으로써 기후변화로 인한 댐 유역의 변화를 전망하여 다목적댐의 취약성을 평가한다면 다목적댐의 수자원을 효율적이고 안정적으로 관리할 수 있는 방안을 제시할 수 있도록 하기 위한 자료로 활용할 수 있을 것이다. ☺

참고문헌

1. 강부식, 이봉기 (2011). 중규모수치예보자료의 정량적 강수추정량 개선을 위한 인공신경망기법, 한국수자원학회 논문집, 제44권 제2호, pp.95-105, 2011년 2월.
2. 이종문, 김영도, 강부식, 이해숙 (2012). 남강댐 유역에서의 기후변화에 대한 유출 영향, 한국수자원학회 논문집, 제45권 제6호, pp.517-529, 2012년 6월
3. Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., and Williams, J.R. (1998). "Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development." Journal of American Water Resources Association, JAWRA, Vol. 34, No. 1, pp. 73-89.
4. IPCC (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.(eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.