

기후변화를 고려한 댐유역의 수질변화 분석

The Effect of Climate Change on Water Quality in a Dammed River Basin

한건연*, 김동일**, 황보현***, 정제호****

Kun-Yeun Han, Dong-Il Kim, Hyun Hwangbo, Je-Ho Jung

요 지

현재 기후변화가 심화되면서 기상변동성이 커지고 이에 따라 사막화 현상의 심화, 엘니뇨(El Nino), 라니냐(La Nina), 태풍, 집중호우 등의 이상기후 현상이 전 지구상에 걸쳐 광역적으로 나타나고 있는 실정이다.

이러한 기후변화는 앞서 말한 것과 같이 여러 기후인자들을 변화시켜 수자원의 양적변화 등 지속가능한 수자원 개발 관리에 큰 영향을 미치므로 이에 대한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 대표적으로 여러 가지 2CO₂ 시나리오에 대한 대기 순환 모형의 적용 결과를 이용하여, 이러한 기후변화가 수문순환에 영향을 미치는 기후인자인 기온, 강수량, 습도 및 풍속, 그리고 물의 수량 및 수질 등에 미치는 영향을 분석하고, 이를 기반으로 기후변화와 관련된 환경 및 수자원의 정책 개발에 대한 연구들이 주로 수행되고 있다. 국내 역시 기후 변화와 관련된 연구들이 수행되고는 있으나, 기후변화와 연계된 유량과 수질 예측에 대한 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 IPCC의 배출 시나리오(Special Report on Emissions Scenarios, 이하 SRES) 중 인구증가율이 높고 경제발달과 기술변화가 느리고 환경에 무관심한 극한현상을 나타내는 A2 시나리오와 청정 및 자원 효율적인 기술 등 급격히 발전하고 조사대상 유역특성과 유사한 B1 시나리오를 선정하고, 이에 대한 유역의 기온과 강우량을 GCM을 적용하여 모의하였다.

또한 향후의 기후변화가 유출·수질(BOD, TN, TP)에 미치는 영향을 2020년, 2050년, 2080년에 대하여 평가하기 위하여 GIS 기반의 유역 모형인 SWAT을 대상모형으로 선정하였다. 신뢰성 평가를 위해 현재 상태에서의 모의를 검·보정 하여 실제 A2, B1 기후변화 시나리오에 따른 기온 및 강우량 변화 등에 대한 영향을 평가하여 보았다.

핵심용어 : GCM, 기후변화, SWAT, WASP, 수질예측

1. 서 론

현재 기후변화가 심화되면서 기상변동성이 커지고 이에 따라 사막화 현상의 심화, 엘니뇨(El Nino), 라니냐(La Nina), 태풍, 집중호우 등의 이상기후 현상이 전 지구상에 걸쳐 광역적으로 나타나고 있는 실정이다.

현재 기후변화의 기상변동성이 커짐에 따른 사막화 현황의 심화와 엘니뇨, 라니냐, 태풍 및 집중호우 등의 이상기후 현상이 전 지구상에 걸쳐 광역적으로 나타나고 있다. 국제기구인 정부간 기후변화협약의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, 이하 IPCC)에서는 이러한 기후변화가

* 정회원 · 경북대학교 토목공학과 교수 · E-mail : kshanj@knu.ac.kr

** 정회원 · 경북대학교 토목공학과 박사수료 · E-mail : kdi5422@naver.com

*** 정회원 · 경북대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : ghkdqh0@nate.com

**** 정회원 · 국립환경과학원 연구사 · E-mail : dah3o@korea.kr

기온 상승에 따른 증발산량의 증가, 강수량 및 유출량의 시공간적 분포의 변동 등을 초래하여 수자원의 효율적 관리 및 안정적인 공급에 어려움을 증대시킬 것으로 전망하였다.

기후 시나리오에 따른 기후변화를 모의하기 위해서 차원 기후시스템을 모의하는 전지구기후모형(General Circulation Model, 이하 GCM)을 주로 이용되고 있다. 그러나 GCM은 공간해상도가 낮기 때문에 GCM의 적용 결과를 직접 이용하여, 수문학적 측면에서 관심 대상이 되는 유역 규모의 지역적인 스케일 특성 및 물리적 특징을 설명하기에는 어려움이 따르며, 입력 자료 및 모형의 적용 결과에 대한 불확실성이 커지게 된다. 따라서 이러한 GCM의 불확실성을 최소화하고 지역규모의 유역모형에 적용하기 위한 상세화기법(Downscaling) 및 다양한 시나리오에 따른 연구들이 수행되고 있다.

국내에서 많이 사용되고 있는 장기유출모형으로는 TANK, PRMS, SWAT, HSPF 등이 있으며, 본 연구에서는 장기적인 모의가 가능하며, 준분포형 유역유출모형인 SWAT을 이용하였다.

2. GCM을 이용한 기후 예측

본 연구에서는 GCM으로 MIROC 3.2를 이용하였고, 시나리오는 극한사항을 나타내는 A2 시나리오와 유역특성과 유사한 B1 시나리오를 이용하였다. GCM의 경우 공간적인 스케일이 일반적인 유역모형에 적용하기 어려울 정도로 큰 스케일이므로 통계학적 상세화기법을 이용하여 GCM자료를 Downscaling하여 유역모형에 적용 가능한 스케일로 변환하여 주어야 한다. 본 모형에서 적용한 MIROC 3.2의 경우 온도가 실제 관측치 보다 0.62℃ ~ 0.67℃ 정도 크게 나타나고 있어 이를 검·보정 하였다. 또한 강수량의 경우도 GCM의 강우가 실측치 보다 4% ~ 6% 정도 과대 추정되어 이를 보정한 후 강우량을 예측하였다.

안동댐의 강우추세를 살펴보면 A2 시나리오는 현재의 비해 2020년에 7.2% 증가하는 것으로 나타났으며, 2050년에 6.4%, 2080년에 13.3%가 증가하는 것으로 나타났다. 또한 B1 시나리오는 현재에 비해 2020년에 6.6%가 증가하고, 2050년에 8.2%, 2080년에 10.1% 증가하는 것으로 나타났다. 안동댐의 기온을 살펴보면, A2 시나리오에서는 2020년에 0.8℃ 증가하고, 2050년에 1.7℃, 2080년에 3.3℃가 증가하는 것을 나타냈다. B1 시나리오에서는 2020년에 1.2℃ 증가하는 것으로 나타났으며, 2050년에 2.0℃, 2080년에 2.5℃가 증가하는 것으로 나타났다.

표 1. 안동댐 유역 월평균 강수량 변화율(%)

구 분	A2(2020s)	B1(2020s)	A2(2050s)	B1(2050s)	A2(2080s)	B1(2080s)
1월	21.2	21.2	20.7	6.9	22.8	7.9
2월	4.6	11.0	16.6	9.2	39.0	8.4
3월	7.1	8.2	1.7	-1.3	1.0	-4.1
4월	26.9	15.2	13.5	20.8	12.8	23.0
5월	-11.7	-16.6	-17.8	-11.4	-1.7	-9.4
6월	-20.9	-12.7	-14.0	-13.7	3.7	-10.0
7월	17.6	16.7	24.5	23.5	27.2	20.6
8월	28.2	18.4	14.4	19.0	8.1	25.6
9월	3.6	10.5	10.4	15.4	31.2	21.5
10월	-29.5	-31.4	-34.5	-40.4	-34.0	-41.6
11월	-9.7	3.8	-4.6	-1.0	11.9	-8.3
12월	1.6	6.5	-5.4	-5.3	0.4	-2.5
평 균	3.3	4.2	2.1	1.8	10.2	2.6

표 2. 안동댐 유역 월평균 기온 변화(℃)

구 분	A2(2020)	B1(2020)	A2(2050)	B1(2050)	A2(2080)	B1(2080)
1월	0.3	0.7	1.2	1.3	3.6	2.1
2월	1.2	1.6	2.3	2.3	4.4	2.9
3월	0.4	0.5	1.2	1.1	2.7	1.4
4월	0.4	0.4	0.9	0.8	1.6	1.0
5월	0.6	0.8	1.2	1.3	1.9	1.6
6월	1.4	1.9	2.4	2.8	3.6	3.3
7월	1.5	2.0	2.9	3.3	4.6	3.9
8월	1.0	1.6	2.6	2.8	4.5	3.4
9월	0.7	1.3	2.0	2.3	3.5	2.6
10월	0.8	1.3	1.6	1.9	2.8	2.2
11월	1.0	1.5	1.6	2.0	3.1	2.5
12월	0.2	0.8	1.0	1.5	3.2	2.4
평 균	0.8	1.2	1.7	2.0	3.3	2.5

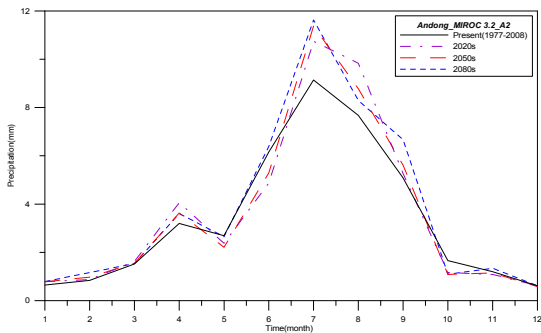


그림 1. 안동댐 월평균 강우 변화(A2)

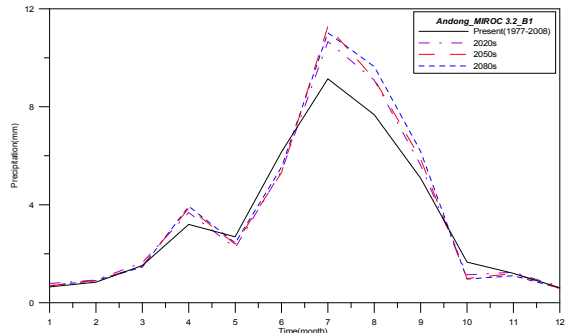


그림 2. 안동댐 월평균 강우 변화(B1)

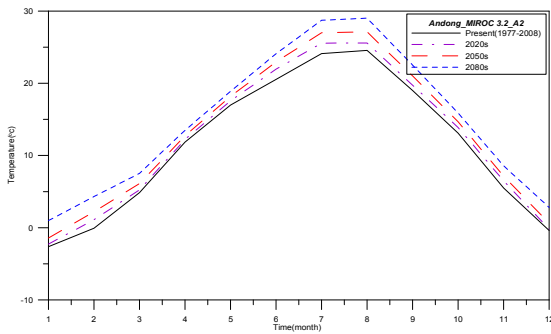


그림 3. 안동댐 월평균 기온 변화(A2)

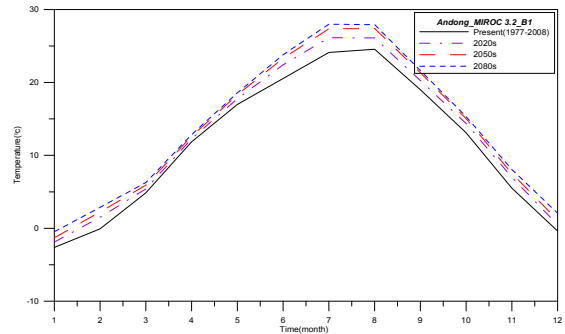


그림 4. 안동댐 월평균 기온 변화(B1)

3. 기후변화에 따른 유량 및 수질 변화 예측

이러한 결과를 바탕으로 안동댐 유역에서 기후변화의 영향을 유량, BOD의 대하여 적용하여 변화 추이를 분석하여 보았다. 본 연구에서는 시나리오를 A2, B1시나리오를 이용하므로 각각에 시나리오에 대한 GCM Downscaling 자료를 구축하고 이를 입력 자료로 이용하여 2020년, 2050년, 2080년에 대하여 각각 월평균 자료를 도출하여 보았다. 이를 비교하여 갈수기와 홍수기시의 영향을 각각 분석해보고자 한다.

아래의 그림에 나타난바와 같이 유량은 강우의 영향을 많이 받는 인자이므로 강우가 감소하는

3월과 4월, 5월에서 유량도 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 강우가 감소하는 10월의 경우도 이전월에 비해 증가폭이 급격히 감소하는 현상을 보이고 있다. 또한 강우의 경우에서 2050년까지 B1시나리오에서 강우의 증가가 조금 더 크게 나타나고 있는데 유량에서도 이와 같이 2050년까지는 B1시나리오가 근소하게나마 크게 나타나고 있고, 2080년 이후에는 A2시나리오의 유량이 더 크게 나타나고 있는 것으로 나타나고 있다.

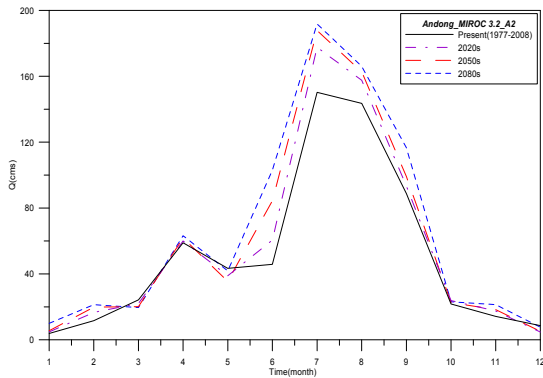


그림 5. 안동댐 유량의 변화(A2)

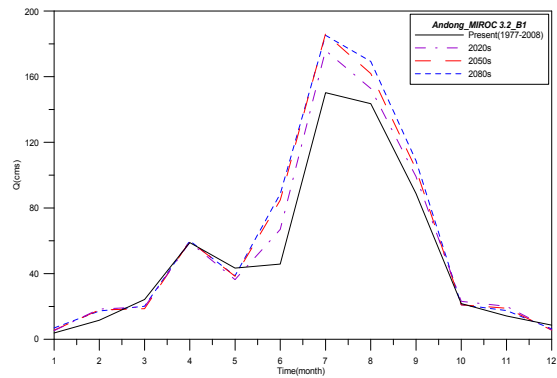


그림 6. 안동댐 유량의 변화(B1)

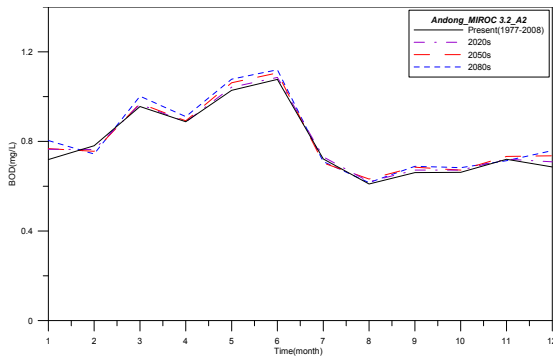


그림 7. 안동댐 BOD의 변화(A2)

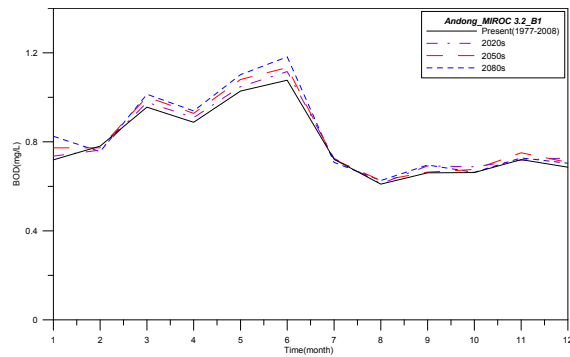


그림 8. 안동댐 BOD의 변화(B1)

BOD의 경우 수온의 영향과 유량이 큰 영향을 미치는 인자로 유량변화와 유사한 패턴을 나타내어 월변화는 갈수기인 1월부터 6월까지의 증가 후 풍수기에 급격히 감소하여 미미한 증가하는 경향을 나타내었고, 연도별 변화는 특히 갈수기에 2008년도로 갈수록 미미하지만 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 기온은 증가와 연관이 있는 것으로 판단된다. 또한 B1시나리오가 A2시나리오보다 연도별 증가폭 및 오염도가 다소 높게 나타내었다.

BOD의 경우 기온의 영향을 많이 받는 인자로 하절기가 될수록 수온이 높아지게 되어 BOD 농도가 일부 증가하는 것으로 나타나고 있다. 하절기의 경우 강우와 마찬가지로 기온도 상승하는 추세를 보이고 있는데 BOD 역시 기온의 상승과 함께 상승하는 것으로 나타나고 있다.

4. 결론

본 연구는 기후변화가 댐 유역의 수질에 미치는 영향을 파악하기 위해서, 우선 IPCC의 배출 시나리오(Special Report on Emissions Scenarios, SRES) 중 극한사항을 나타내는 A2 시나리오와 청정 및 자원 효율적이고 대상유역과 유사한 조건인 B1 시나리오에 대하여, GCM을 적용한 결과

를 통계학적으로 Downscaling 하여 2020년, 2050년, 2080년에 대한 장래 기온과 강우량을 추정하였다. 이러한 장래 예측된 기후인자 및 토지이용 자료를 이용하여, 안동 및 합천댐 유역에 대한 유량 및 BOD 농도를 SWAT 모형을 적용하여 모의하였다.

1. 기후변화에 따른 강우 변화 추세는 극한 현상을 나타내는 A2 시나리오에서 증가폭이 큰 것으로 나타났다. 댐 유역의 월평균 강우량은 A2 시나리오, B1 시나리오 모두 5월과 6월, 10월에 감소하는 경향을 보이고 있으나, 그 외의 모든 달에서 강우량이 증가하였다. 기온의 경우는 B1 시나리오보다 A2 시나리오의 연도별 증가폭이 큰 것으로 나타났으며, 2000년부터 2080년까지 월평균 기온 변화도 정도의 차이가 있으나 전반적으로 모두 증가하는 경향을 나타내었다.
2. SWAT모형을 적용하여 예측한 댐 유역의 월별 유량 변화는 강우가 적은 5월과 6월에 유량도 감소하는 경향을 나타내었고, 이후 9월까지 급격히 증가하며 10월에 이르러 증가폭이 급격히 감소하는 현상을 나타내었으며, 2월은 용설(snowmelt)의 영향으로 강우량의 영향은 미미하였으나 유량이 증가하는 것으로 나타났었다. 연도별 유량 변화는 시나리오별 강우량의 증가로 전체적으로 증가 추세를 보였으며, 2050년까지는 유량 증가폭이 미비 하였으나 2080년으로 갈수록 유량 증가폭이 크게 나타났다.
3. 댐 유역의 수질 중 기온 및 유량의 영향을 많이 받는 인자인 BOD는 2020년, 2050년, 2080년으로 갈수록 일부 증가하는 경향을 나타내었다. 월별 변화는 강우량 적고 수온이 높은 3~6월의 경우 BOD 농도의 상승 및 증가 폭이 큰 경향을 보이고, 하절기가 될수록 강우에 따른 유량 증가로 농도가 감소한 후 10월부터 조금씩 상승하는 것으로 나타났다. A2, B1 시나리오별 BOD 농도 변화는 B1 시나리오에서 연도별 증가폭 및 오염도가 다소 높은 경향을 나타내었다.

감 사 의 글

본 연구는 2010년도 BK21 사업에 의하여 지원되었습니다.

참 고 문 헌

1. 배덕효 (2005). 기후변화가 수자원에 미치는 영향과 과제, 월간 국토, 국토연구원, 제281호, pp. 32-38.
2. 안재현, 윤용남, 유철상 (2001b). 지구온난화에 따른 수문환경의 변화와 관련하여: 2. 물수지 모형을 이용한 대청댐 상유 유역 수문환경의 변화 분석, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제34권, 제5호, pp. 511-519.
3. 정일원, 배덕효, 임은순 (2007). 기후변화 수자원 영향평가를 위한 고해상도 시나리오 생산 (II); 유역별 유출시나리오 구축, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제40권, 제3호, pp.205-214.
4. Dibike, Y.B., and Coulibaly, P., (2005). Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. *J. of Hydrol.*, Vol. 307, pp.145 - 163.
5. IPCC(1994). *Climate Change 1994*, Cambridge, Cambridge University Press.
6. IPCC(2000). *Special Report on Emissions Scenarios*, Cambridge, Cambridge University Press.