

기후변화를 고려한 농업용저수지 필요저수량 변화 분석

Analysis of Storage Requirement of Agricultural Reservoirs with regard to Climate Change

윤동균*, 정상옥**, 김성준***

Dong Koun Yun, Sang-Ok Chung, Seong Joon Kim

요 지

기후변화에 의한 각 분야의 영향예측과 평가가 전 세계적으로 진행되고 있으며, 이 결과가 국제기관들에 의해 종합 정리되어 발표되고 있다. 또한 이를 토대로 범 지구차원, 국가차원의 대응방안에 관한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.

우리나라는 아시아 몬순 기후 지역으로 년 평균 강수량이 1,270mm 정도로 세계 평균의 1.3배 정도로 비교적 많은 편이나 1인당 강수 총량은 세계평균의 1/11로서 물부족 국가에 속하고 있다. 연간 강수량의 분포는 계절적, 지역적으로 큰 차이를 보여 다우기인 6월에서 9월까지의 강수량이 2/3을 차지하며 그 후 이듬해 3월까지의 강수량이 전체의 1/5에 불과해 여름에는 집중호우로 인한 홍수가 빈발하며, 겨울과 봄에는 물 부족이 발생하게 된다. 또한 기후변화로 인한 강수량과 기온은 지역적으로 차이는 있으나 계속적으로 증가하는 것으로 분석됨에 따라 기후변화에 따른 농업수자원은 더욱 취약해 질 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 농업용저수지에 대한 필요저수량을 예측하였다. 그 결과 2020s, 2050s, 2080s 및 각 지역별로 많은 차이가 났다. MM5의 경우 13.1%~37.4%, CF방법에서는 -7.3%~36.2%, LARS-WG방법에서는 -33.1%~37.8%로 지역별 및 년도별로 남거나 부족한 것으로 나타났다. 이는 미래에 내리는 강우가 관개기에 얼마나 큰 영향을 미치느냐에 따라 크게 달라지는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 농업용저수지(Agricultural reservoir), 기후변화(climate change), MM5

1. 서론

산업혁명 이후 과학기술의 급진적인 발전과 산업화로 인류의 삶의 질은 급속도로 향상된 반면, 생태계의 파괴와 환경악화로 인한 피해가 급증하고 있다. 화석연료의 연소로 인한 이산화탄소 등의 온실가스 농도 증가로 인한 지구 온난화는 지구 곳곳의 기후를 변화시킴으로써, 인류사회와 자연생태계에 영향을 미치고 있다. 이러한 기후변화가 지구환경에 미치는 영향의 중요성이 구체적으로 인식됨에 따라 선진국들은 기후변화 문제를 21세기에 최우선적으로 해결해야 할 문제로 다루고 있다. 우리나라는 협소한 국토면적과 과다한 인구로 토지나 수자원 등 국토자원 이용의 강도가 다른 나라에 비하여 현저하게 높은 실정이다. 특히 담수자원의 의존도가 높은 상황에서 기후변화와 같은 약간의 기후변동은 우리의 농업수자원에 심각한 문제를 발생할 가능성이 내포되어 있으므로 이에 대한 미래 농업수자원의 전망을 통한 대응 마련은 필수적인 사항이다. 따라서 본 연구에서는 MM5와 MIROC3.2 A1B 시나리오를 이용하여 우리나라 3개 지역에 대한 농업용수 필요저수량 변화를 예측하였다.

* 정회원 · 한국농어촌공사 농어촌연구원 주임연구원 · E-mail : ydkibm@ekr.or.kr
** 정회원 · 경북대학교 농업토목공학과 교수 · E-mail : sochung@knu.ac.kr
*** 정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

2. 대상관측소 및 저수지 선정

농업용수 영향평가를 하기위해 <표-1>과 같이 우리나라 3개 지역에 대한 대상 관측소 및 저수지를 선정하였다. 대상 관측소는 증발량을 관측하는 관측소를 연구 대상관측소로 선정하였으며, 그다음 관측 자료가 많이 축적되어 있는 곳, 도심지에 떨어진 곳 등을 고려하여 3개의 기상관측소를 선정하였다. 대상저수지 선정은 전국 약 18,000여개의 농업용 저수지 중 100만^m~1,000만^m에 해당하는 저수지를 선별하고 그 중 과거와 현재의 농업 형태가 크게 변화 없는 지역, 그리고 관측소 인근 저수지, 티센망, 산간지역, 내용적도의 정확성 등을 고려하여 대상저수지를 선정하였다.

표 1. 대상관측소 및 대상저수지

지역	전남	충북	경기	비고
관측소명	여수	청주	수원	
DB보유연수	42('67~'08)	42('67~'08)	42('67~'08)	
저수지명	대포	원남	마둔	
유역면적(ha)	1,440.0	3,655.0	1,240.0	
관개면적(ha)	260.6	1,080.0	529.5	
삼투량(mm)	4.0	5.5	4.0	
수로손실(%)	15.0	15.0	10.0	
필요저수량(천 ^m ³)	1,380.1	8,690.2	3,486.0	
준공년도	1934	1988	1975	

3. 기상자료 생성

3.1 GCM 및 온실가스 배출 시나리오

23개 GCMs 중 기상청에서 많이 사용하고 있는 모형 중 일본에서 개발한 MIROC3.2와 독일에서 개발한 ECHAM5-OM, 영국에서 개발한 HadCM3 그리고 독일과 한국이 공동으로 개발한 ECHO-G를 선택하였다. 4개 GCM에서 제공하는 각 시나리오별 기상자료에 대하여 실제 관측 값과 비교 분석하였다. 수자원 및 물수지 변화분석에서 가장 중요하게 다루는 부분이 강우와 기온이며, 그중 강우량에 대하여 수원관측소 관측자료(1979~2008)와 GCM에서 제시한 과거 기상자료를 비교분석 하였다. ECHO-G의 경우 기상청에서 지역기후모형으로 상세화한 MM5의 기상자료를 이용하였다. GCM에서 생성된 기상자료와 기상청에서 관측된 기상자료는 GCM 및 시나리오별로 많은 차이가 났다. 따라서 GCM은 전 세계의 미래 기상자료를 모의하긴 하지만 개발한 나라와 공간해상도에 따라서 그 값의 정확성 및 불확실이 크다는 것을 알 수 있었다. 그 중 기상청에서 개발한 MM5와 실제 관측 값과 가장 유사한 MIROC3.2의 기상자료를 본 연구에 사용하였다.

IPCC 평가보고서는 배출 시나리오에 대한 특별보고서에서 제시한 여러 가지 시나리오에 대하여 기후 변화를 추정하였다. SRES(Special Report on Emissions Scenarios; IPCC, 2000)에는 인구, 사회, 경제, 기술, 환경 개발 등 미래 배출문제의 원동력이 되는 요소들을 광범위하게 다루고 있다. SRES는 크게 4개 그룹(A1, A2, B1, B2)으로 온실가스 배출 시나리오를 제시한다. 시나리오 중 A축은 경제(Economic)지향, B축은 환경(Environmental)지향, 1축은 지구적(Global)지향, 2축은 지역주의(Regional)지향형으로 구분되어 있으나 4가지의 기본 시나리오 중 어느 특정 시나리오가 최적이라고 볼 수는 없다. 본 연구에서는 A1중 에너지의 균형사용인 A1B를 선택하였다.

3.2. 편의보정(bias-correction)

Wood et al.(2004)은 RCM이 GCM에 비해 상세한 지역 기후모의 결과를 제공하지만 수문학적 활용성에서는 크게 향상된 결과를 제시하지 않는다고 제시하였다. 이것은 RCM은 GCM의 자료를 경계조건으로 사용하기 때문에 GCM의 오차가 RCM으로 전파되며, 이와 더불어 RCM의 지역 기후 모의 에서도 아직까지는 한계가 있기 때문이다(Mason, 2004). 따라서 현실성 있는 기후시나리오를 생산하기 위해서는 RCM 결과의 편차를 보정하는 과정이 필요하다고 제시하였다. 따라서 본 연구에서 이용된 MM5, MIROC3.2에 대하여 Droogers와 Aerts(2005), Alcamo 등(1997)이 사용했던 기법인 식(1), 식(2)와 같은 편이보정(bias-correction)법을 이용하여 기후변화에 가장 큰 영향을 미치는 강우와 기온을 보정하였다.

$$P'_{GCM,fut} = P_{GCM} \times (\bar{P}_{meas,his} / \bar{P}_{GCM,his}) \dots\dots\dots (1)$$

여기서, $P'_{GCM,fut}$ 는 보정된 미래의 강우량이며, P_{GCM} 는 GCMs의 모의된 미래의 강우량, $\bar{P}_{meas,his}$ 는 과거 30년(1979~2008) 동안의 관측 연평균 강우량, $\bar{P}_{GCM,his}$ 는 과거 30년(1979~2008) 동안의 모의된 GCM 연평균 강우량을 의미한다.

$$T'_{GCM,fut} = T_{GCM} + (\bar{T}_{meas,his} - \bar{T}_{GCM,his}) \dots\dots\dots (2)$$

여기서, $T'_{GCM,fut}$ 는 보정된 미래의 기온이며, T_{GCM} 는 GCMs의 모의된 미래의 기온, $\bar{T}_{meas,his}$ 는 과거 30년 동안의 관측 연평균 기온, $\bar{T}_{GCM,his}$ 는 과거 30년 동안의 모의된 GCMs 연평균 기온을 의미한다.

3.3 상세화

본 연구에서는 미래 기상자료 상세화 및 물수지변화를 예측하기 위해 기준년도를 선정하였다. 상세화에 필요한 기준년도는 기상관측소 관측 값 중 과거 30년(1979~2008) 강우자료를 평균하여 그 값과 가장 유사한 2005년을 기준년도로 선택하였다. 물수지변화에 대한 기준년도 또한 2005년도 선정하였다. 필요수량 산정에서는 6개 기상자료를 필요하므로 강우와 기온을 제외한 나머지 4개의 기상자료(습도, 증발량, 일조시간, 풍속)는 과거자료와 유사한 값을 적용하였다.

본 연구에서는 역학적 상세화로 구축된 지역기후모델인 MM5(Mesoscale Model Version 5) 결과를 이용하였으며, MIROC3.2에 대하여 Diaz-Nieto와 Wilby(2005)가 사용했던 기법인 CF(Change Factor) 상세화 기법과 무강우일과(dry day) 강우일(wet day)이 지속된 일수에 대한 준경험적분포형(semi-empirical distribution)을 이용하여 분석하는 LARS-WG(Long Ashton Reaserch Weather Generator)를 이용하여 기상자료를 월자료를 일자료로 구축하였다.

4. 물수지모형 분석

저수지나 유역에서 일정 기간의 유입량과 유출량을 가지고 저류량의 시간적 변화를 계산하는 것을 물수지분석이라 한다. 저수지 계획용량은 시설물의 일정 크기를 가정하고 기상자료를 이용하여 저수지 모의조작모형을 이용한 유입량과 유출량을 모의발생시켜 물수지분석을 실시하여 결정한다. 물수지분석은 주로 저수지 등의 계획용량을 결정하기 위하여 실시하며 시설물의 규모를 가정하고

이 시설물에서의 유입량과 유출량 및 시설물의 특성자료 등의 영향인자를 모형화하여 시설물의 거동을 살펴봄으로서 시설물이 적정하게 운영되고 사용되어질 것인지를 사전에 파악할 수 있으며 예상되는 문제점도 도출해 낼 수 있다. 이와 같은 물수지분석 방법을 거동분석(behaviour analysis) 또는 모의발생 기법(simulation analysis)이라고 물수지분석을 실시할 경우 단일 저수지 뿐 만 아니라, 조위의 영향을 받는 담수호, 상·하류 연계물수지, 양수저류지, 유역물수지 등 다양한 형태의 물수지분석 기법이 필요하게 되므로 지구설계 여건을 고려하여 분석기법을 선정하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 농촌용수설계에서 필요수량 산정, 필요저수량 산정 등 농업용 저수지의 물수지분석에 적합한 HOMWRS 모형을 이용하여 농업용저수지 필요저수량을 예측하였다.

본 연구에서는 GUMBEL-CHOW 법에 대한 10년빈도 한발년에 대한 필요저수량을 분석하였으며, 토사 유입 및 퇴적에 대한 필요저수량의 10%감소되는 것을 고려하여 저수지 필요저수량을 분석하였다.

5. 결과

2020s(2011~2040), 2050s(2041~2070), 2080s(2071~2100)에 대한 지역별 10년빈도 한발년 필요저수량 변화를 분석한 결과 MM5를 이용하여 필요저수량을 분석한 결과 전체적으로 기존 필요저수량에 비해 13.1%~37.4% 부족한 것으로 나타났으며, CF방법을 이용하여 필요저수량을 분석한 결과 기존 필요저수량에 비해 -7.3%~36.2%로 지역별 및 년도별로 많은 차이가 났다. 또한 LARS-WG방법을 이용하여 필요저수량을 분석한 결과 기존 필요저수량에 비해 -33.1%~37.8%로 지역별 및 년도별로 많은 차이가 났다. 이와 같은 결과는 MM5의 경우 기온증가로 인한 소비수량이 증가하고 강수량 또한 증가하는 것으로 나타났으나 강수량이 과거 30년 평균에 비해 5월~8월이 상당히 작은 것이 가장 큰 영향을 주는 것으로 분석되었다. 반면 MIROC3.2의 경우 CF방법과 LARS-WG방법에서도 기온 증가로 인한 소비수량은 계속적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 강수량 또한 전반적으로 과거 30년 평균과 전반적으로 비슷한 것으로 나타났으나 봄과 가을이 기존보다 증가하는 것으로 나타나 필요저수량이 기준년도에 비해 남는 것으로 분석되었다.

현재 분석된 결과는 어느 모형 및 방법이 적합하다고 단정하기 어렵다. 모형에서 제시한 기상자료를 우리나라 지역에 적용하기위해 편이보정과 상세화 과정에서 불확실성이 내포되어 있으므로 그에 따른 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 농림수산식품부 연구사업인 농촌개발시험연구사업비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 김병식, 김형수, 서병하, 김남원(2004). 기후변화가 용담댐 유역의 유출에 미치는 영향, 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제37권 제2호, pp. 185-193.
2. 배덕효, 정일원(2004). 기후변화와 수자원의 대응, 세종대학교, 연구논문.
3. 심교문, 김건엽, 노기안, 정현철, 이덕배(2008). 기후변화에 따른 농업기후지수의 평가, 한국농림기상학회지, 제10권 제4호 pp. 113-120.
4. 윤성호, 임정남, 이정택, 심교문, 황규홍(2001). 기후변화와 농업생산의 전망과 대책, 한국농림기상학회논문집, 한국농림기상학회, 제3권, 제4호, pp. 220-237.

5. 윤동균, 이용직, 김진택(2009). 기후변화에 따른 농업용저수지의 시기별 물수지 변화 분석, 한국농공학회, 학술발표논문집, pp. 41.-47
6. Alcamo, J., Dö ll, P., Kaspar, F. and Siebert, S(1997). Global change and global scenarios ofwater use and availability: an application of WaterGAP 1.0. Report A9701, Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Germany.
7. Anthes, R. A. and T. T. Warner(1978). Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other mesometeorological studies. *Mon. Wea. Rev.*, 106, pp. 1045-4078.
8. Giorgi, F., and G. T. Bates(1989). The climatological skill of a regional model over complex terrain. *Mon. Wea. Res.*, 117, pp. 2325-2347.
9. Giorgi, F(1990). Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. *J. Climate*, 3, pp. 941-963.
10. Grell, G.A., J. Dudhia, and D.R. Stauffer(1994). A description of the ifith generation Penn State/NCAR Mesoscale Model(MM5). NCAR Tech. Note NCAR/TN-398+STR, p. 121.
11. Henderson-Sellers, A. and McGuffie, K(1997). *A Climate Modelling Primer Second Edition.* John Willy & Sons,
12. Hong. S. Y., and H.-L. Pan(1996). Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, 124. pp. 2322-2339.
13. IPCC(2001). *Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson(Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 881-887.
14. IPCC(2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis.* Contribution of Working Group I to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, U.K and New York, NY, USA.