

기후변화에 따른 농업용수공급패턴의 변화로 인한 이수안전도변화분석

Water Supply Reliability Revaluation For Agricultural Water Supply Pattern Changes Considering Climate Changes

최영돈*, 안중서**, 신현석***, 차형선***

Young Don Choi*, Jong Seo Ahn**, Hyun Suk Shin***, Hyung Sun Cha***

요 지

This research was performed to examine changes in the timing of the growth of crops along with changes in temperatures due to changes and to analyze the change of water-supply-reliability by adding an analysis of the change of agricultural water supply patterns in the basin area of Miryang dam in Korea. Had-CM3 model from U.K. was the tool adopted for the GCM model, a stochastic, daily-meteorology-generation-model called LARS-WG was also used for downscaling and for the climate change scenario (A1B) which represents Korea's circumstances best. First of all, to calculate changes in the timing of the growth of crops during this period, the theory of GDD was applied. Except for the period of transplanting and irrigation, there was no choice but to find the proper accumulated temperature by comparing actual temperature data and the supply pattern of agricultural use due to limited temperature data. As a result, proper temperatures were found for each period. 400°C for the preparation period of a nursery bed, 704°C for a nursery bed's period, 1,295°C for the rice-transplanting period, 1,744°C for starting irrigation, and 3,972°C for finishing irrigation. To analyze future agricultural supply pattern changes, the A1B scenario of Had-CM3 model was adopted, and then Downscaling was conducted adopting LARS-WG. To conduct a stochastic analysis of LARS-WG, climate scenarios were generated for the periods 2011~2030, 2046~2065, 2080~2099 using the data of precipitation and Max/Min temperatures collected from the Miryang gauging station. Upon reviewing the result of the analysis of accumulated temperatures from 2011~2030, the supply of agricultural water was 10 days earlier, and in the next periods-2046~2065, 2080~2099 it also was 10 days earlier. With these results, it is assumed that the supply of agricultural water should be about 1 month ahead of the existing schedule to meet the proper growth conditions of crops. From the results of the agricultural water supply patterns should be altered, but the reliability of water supply becomes more favorable, which is caused from the high precipitation change. Furthermore, since the unique characteristics of precipitation in Korea, which has high precipitation in the summer, water-supply-reliability has a pattern that the precipitation in September could significantly affect the chances of drought the following winter and spring. It could be more risky to make changes to the constant supply pattern under these conditions due to the high uncertainty of future precipitation. Although, several researches have been conducted concerning climate changes, in the field of water-industry, those researches have been solely dependent on precipitation. Even so, with the high uncertainty of precipitation, it is difficult for it to be reflected in government policy. Therefore, research in the field of water-supply-patterns or evapotranspiration according to the temperature or other diverse effects, which has higher reliability on anticipation, could obtain more reliable results in the future and that could result in water-resource maintenance to be safer and a more advantageous environment.

핵심용어 : Climate Change, LARS-WG, 농업용수공급, GDD(Growing Degree Days), SWAT

1. 서론

* 정회원 · 한국수자원공사 조사기획처 대리 · E-mail : choiyd1115@kwater.or.kr
** 정회원 · 한국수자원공사 조사기획처 처장 · E-mail : jsahn@kwater.or.kr
*** 정회원 · 부산대학교 사회환경시스템공학부 부교수 · E-mail : hsshin@pusan.ac.kr
**** 정회원 · 한국수자원공사 조사기획처 팀장 · E-mail : chasun@kwater.or.kr

최근 기후변화로 인한 수자원분야의 다양한 영향에 대해서 연구가 진행되고 있으나, 강수의 불확실성으로 인하여 정책적인 반영 등에는 아직 반영되지 못하고 있는 실정이다. 이에 강수도 중요하지만 좀 더 명확하게 증명된 온도상승에 따른 수자원분야의 영향에 대해서 연구하고자 하였다.

2. 기후변화 모델의 적용 및 시나리오 선정

본 연구는 GCM모델 중 영국의 Had-CM3모델을 이용하여 밀양댐 유역으로 추계학적 일기상 발생모형인 LARS-WG를 이용하여 A1B시나리오에 따른 이수안전도변화를 분석하고자 하였다. 관측자료는 밀양관측소의 1973~2008년의 강수, 일최대, 최소온도를 이용하였으며, A1B 시나리오를 이용하여 아래의 표와 같이 2011~2030년, 2046~2065년, 2080년~2099년의 기후시나리오를 생성하였다. 결과 2011~2030년에는 평균 1309mm, 2046~2065년에는 평균 1583mm, 2080년~2099년에는 평균 1556mm로 전망되었다.

표 1. 2011~2030년 년강수량 전망

2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1342	1488	1019	1434	1171	946	1628	1535	1427	1205	1264	1246	1430	1181	948	2402	1399	1028	1391	694

표 2. 2046~2065년 년강수량 전망

2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065
1712	1800	1105	1702	1392	1156	2111	1842	1809	1406	1549	1456	1672	1454	1189	2968	1673	1194	1614	846

표 3. 2080~2099년 년강수량 전망

2080	2081	2082	2083	2084	2085	2086	2087	2088	2089	2090	2091	2092	2093	2094	2095	2096	2097	2098	2099
1657	1777	1090	1687	1388	1132	2080	1800	1814	1415	1566	1344	1677	1417	1118	2886	1665	1156	1635	824

3. 벼 생육모의를 위한 적산온도의 산정 및 적용

밀양댐은 1.6m³/s의 생활용수, 0.2m³/s의 하천유지용수를 연중 일정하게 공급하고 있으며, 농업용수는 벼의 생육특성과 과거 1973~1989년의 농업용수수요를 월별로 평균하여 13.1백만m³/년을 공급하고 있다. 현재 기후변화에 따른 강수의 변화는 높은 불확실성을 가지고 있다고 할 수 있으나, 온도의 경우는 IPCC보고서(2007)등에서 신뢰성이 있는 것으로 많은 연구를 통해 증명되었다. 벼의 생육은 적산온도에 가장 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있으므로, 기후변화에 따라 온도가 변화하면 벼의 생육 패턴이 바뀌는 것은 너무나 당연한 사실이라고 할 수 있을 것이다. 이에 먼저 기후변화에 따른 농업용수의 공급패턴을 10일단위로 분석해 보았다. 현재 밀양댐하류지역은 벼의 생육기간을 살펴보면, 4월27일~4월30일에 묘대정지기, 5월1일~6월4일에 묘대기, 6월5일~6월20일에 이앙기, 6월21일~9월21일에 관개기를 가진다.

표 4. 1973~1989년 적산온도와 방류량 현황

기간	4/20 ~4/30	5/1 ~5/10	5/11 ~5/20	5/21 ~5/31	6/1 ~6/10	6/11 ~6/20	6/21 ~6/30	7/1 ~7/10	7/11 ~7/20	7/21 ~7/31	8/1 ~8/10	8/11 ~8/20	8/21 ~8/31	9/1 ~9/10	9/11 ~9/20	9/21 ~9/30
방류량 (m ³ /s)	0.05	0.02	0.03	0.03	0.4	1.1	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.05
적산온도 (°C)	544	704	875	1,087	1,295	1,514	1,744	1,987	2,240	2,533	2,800	3,065	3,340	3,573	3,781	3,972

적산온도는 일별 (Tmax+Tmin)/2의 온도를 1월1일부터 누적하였으며, 최저온도가 0°C보다 작을 경우는 0°C로 계산하고, 30°C보다 큰 경우는 30°C를 이용하여 벼의 생육특성을 잘 반영할 수 있도록

록 하였다. 이에 대해서 A1B 시나리오의 2011~2030년의 적산온도를 분석한 결과 10일정도 농업용수 공급시기가 빨라졌으며, 2046~2065년에도 다시 10일이 빨라지고, 2080~2099년에도 개략 10일정도가 빨라져서 향후 2100년경에는 벼의 적절한 생육조건을 위하여 현재의 농업용수공급 패턴보다 1달정도가 빨리 공급되어야 할 것으로 추정할 수 있다. 이러한 물공급의 패턴의 변화는 물공급안전도에 영향을 줄 수 있으므로 이에 대해서 정확한 분석을 통하여 향후에 있을 물부족에 대비하고자 하였다.

표 5. 2011~2030년의 벼의 생육시기별 적산온도

2011~2030년의 적산온도						묘대 정지	묘대기			이앙기	관개기	
누적 적산 온도	3월			4월			5월			6월		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
	98	165	268	385	521	678	852	1,038	1,261	1,483	1,717	1,964

누적 적산 온도	관개기								
	7월			8월			9월		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하
2,227	2,496	2,795	3,069	3,341	3,629	3,865	4,084	4,280	

표 6. 2046~2065년의 벼의 생육시기별 적산온도

2046~2065년의 적산온도						묘대 정지	묘대기			이앙기	관개기	
누적 적산 온도	3월			4월			5월			6월		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
	169	255	376	508	656	822	1,006	1,201	1,437	1,672	1,920	2,181

누적 적산 온도	관개기								
	7월			8월			9월		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하
2,458	2,740	3,055	3,342	3,628	3,933	4,185	4,422	4,633	

표 7. 2080~2099년의 벼의 생육시기별 적산온도

2080~2099년의 적산온도						묘대 정지	묘대기			이앙기	관개기	
누적 적산 온도	3월			4월			5월			6월		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
	277	380	515	660	821	998	1,192	1,399	1,645	1,889	2,147	2,417

누적 적산 온도	관개기								
	7월			8월			9월		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하
2,701	2,989	3,310	3,604	3,897	4,211	4,475	4,724	4,948	

4. 밀양댐 유역의 SWAT모형 구축 및 이수안전도 분석

4.1 밀양댐유역의 SWAT모형 구축

물공급안전도 평가를 위하여 장기유출모델인 SWAT모형을 밀양댐유역에 구축하였다. 수치지도는 30m×30m, 중분류토지피복도, 정밀토양도를 이용하였으며, 강수, 최대, 최소온도는 LARS-WG를 이용하여 추계학적으로 생성하고, 일사량, 풍속, 습도는 과거 30년 기후특성 통계자료와 SWAT의 Weather Generator를 이용하여 모의하였다. 소유역은 13개에 231개의 HRU로 유역분할

하였으며, 산림지역이 75%로 가장 많은 면적을 차지했다. 밀양댐은 유역면적 95.4km²이며, 연간 73백만m³/년의 용수를 공급하고 있다. 2000년 9월부터 담수를 시작하여 현재까지 운영중에 있으며, 2001년부터의 자료를 이용하여 검보정을 실시하였다.

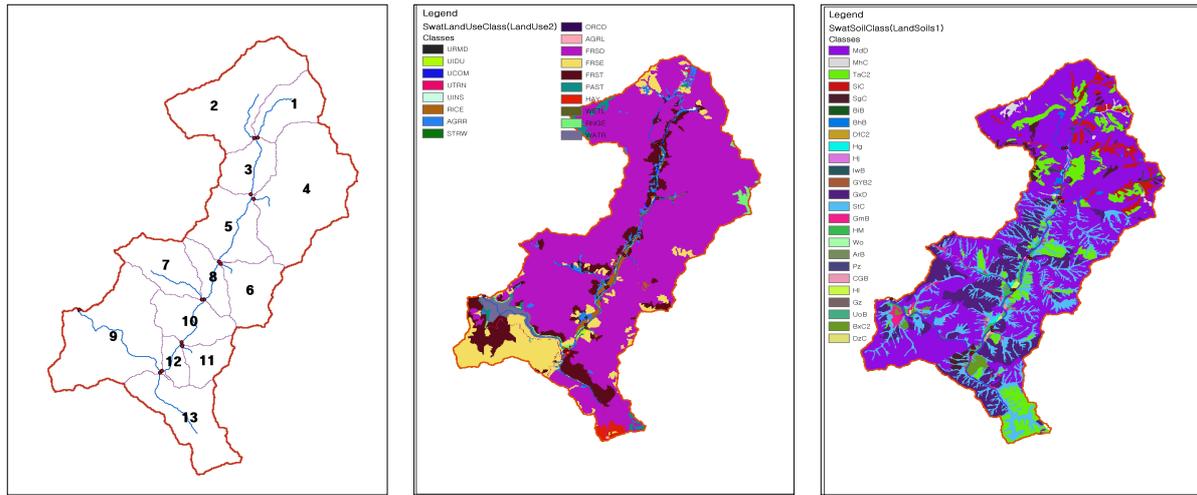


그림 1. 밀양댐 유역분할도 그림 2. 밀양댐 중분류토지피복도 그림 3. 밀양댐 정밀토양도

4.2 이수안전도 분석

1973~2008년의 기상자료를 이용하여 물공급을 계획방류량 전량을 Firm Supply의 형태로 공급하였을 경우의 이수안전도를 분석하였으며, 1973~1974년은 시험운영시간으로 제외하였다. 결과 12,419일 중 572일이 물공급이 되지 않아 95.4%이 이수안전도를 가지는 것으로 분석되었다.

2011~2030년은 7,305일 중 2,348일의 물공급이 되지 않아 동일한 67.9%의 이수안전도를 나타내었다. 그리고 2046~2065년과 2080~2099년에는 각각 252일과 385일로써 96.6%와 94.7%가 공급가능하였다. 이는 2011~2030년의 연평균강수량에 비해 2046~2065년과 2080~2099년의 연평균강수량이 250mm정도 많이 와 강수량의 영향인 것을 알 수 있었다.

표 8. 기후변화에 따른 이수안전도분석(일 단위)

일단위 분석	1973~2008	2011~2030	2046~2065	2080~2099
총일수(일)	12419	7305	7305	7305
공급불가능일수(일)	572	2348	252	385
이수안전도(%)	95.4	67.9	96.6	94.7

표 9. 기후변화에 따른 이수안전도분석(월 단위)

월단위 분석	1973~2008	2011~2030	2046~2065	2080~2099
총월수(월)	408	240	240	240
공급불가능월수(월)	110	79	10	14
이수안전도(%)	73.0	67.1	95.8	94.2

5. 결과

기후변화로 인하여 농업용수의 공급패턴이 변해야 하는 것은 명확히 알 수 있었으나, 이수안전도는 여름철에 강우가 집중해서 내리는 우리나라의 강우특성상 9월의 강우량에 따라 겨울과 봄의 가뭄에 많은 영향을 미치는 기후패턴을 가지고 있으므로, 미리 농업용수의 공급변화패턴을 알고 9월말에 공급을 줄인다면 현재보다 좀 더 유리한 댐운영이 가능할 것으로 추정할 수 있다. 하지만,

미래의 강수에 대한 높은 불확실성에서 일정한 공급패턴에서 변화가 발생한다는 것은 더 많은 위험을 가질 수도 있을 것이다. 현재 기후변화관련해서 다양한 연구가 진행되고 있지만 수자원분야는 강수량에 의존한 연구에 집중을 하고 있다. 하지만 강수량의 불확실성이 높아 정책의 반영등에 다양한 어려움이 있는 만큼 예측에 대한 신뢰성이 높은 온도에 따른 수자원공급패턴이나 증발산량 등 다양한 영향등에 대한 연구를 함으로써 미래에 대한 좀 더 신뢰성있는 결과를 얻을 수 있으며, 안전하고 유리한 물관리를 실현할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Mikhail A. Semenov and Elaine M. Barrow. (2002). LARS-WG User Manual(Version 3.0): A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies
2. Lee Suk Soon. (1983) "Utilization of Growing Degree Days as an Index of Growth Duration of Rice Varieties," The Korea Society Of Crop Science, 28(2)173~183(1983).
3. Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., T.L.,640 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed 641 simulations. Transactions of the ASABE 50(3), 885-00