Vol.35, No.4, pp.573-584, 2023

Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences

RESEARCH ARTICLE

pISSN 2233-8322, eISSN 2508-870X
https://doi.org/10.22698/jales.20230046

농업가뭄 특성 분석 및 대응 전략 연구

도종원[1], 신형진[2*], 진영규[3], 이슬기[3], 임희성[3], 임혁진[4], 황선아[5], 남원호[6], 박찬기[7]

[1]한국농어촌공사 농어촌연구원 차장, [2]한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원, [3]한국농어촌공사 농어촌연구원 선임연구원, [4]한국수자원조사기술원 연구개발과 팀장, [5]농촌진흥청 국립농업과학원 연구사, [6]한경대학교 사회안전시스템공학부 부교수, [7]국립공주대학교 지역건설공학과 교수

Analysis of Characteristics of Agricultural Drought and Study of Response Strategies

Jongwon Do[1], Hyungjin Shin[2*], Youngkyu Jin[3], Seulgi Lee[3], Heesung Lim[3], Hyeokjin Lim[4], Seonah Hwang[5], Won-Ho Nam[6], Changi Park[7]

[1]Deputy Director, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Ansan, 15634, Korea
[2]Senior Researcher, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Ansan, 15634, Korea
[3]Researcher, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Ansan, 15634, Korea
[4]Senior Researcher, Research Business Division, Korea Institute of Hydrological Survey, Goyang, 10390, Korea
[5]Reserch Scientist, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Jeonju, 54875, Korea
[6]Associate Professor, School of Social Safety and System Engineering, Hankyong National University, Anseong, 17579, Korea
[7]Professor, Department of Regional Infrastructure Engineering, Kongju National University, Yesan, 32439, Korea

***Corresponding author:** Hyungjin Shin (E-mail: shjin@ekr.or.kr)

Received: 16 November 2023
Revised: 2 December 2023
Accepted: 6 December 2023

A B S T R A C T

The increased frequency of natural disasters has been attributed to abnormal climate conditions, with droughts notably causing significant damage. In particular, droughts directly impact the agricultural sector. In recent years, the scale and frequency of damages caused by droughts in South Korea have increased. In 2018, a drought occurred during the crucial panicle formation stage of rice (July – August) due to below-average rainfall and heat waves. This led to a decrease in both the reservoir storage rate and soil moisture. The reservoir storage rate exhibited a decline from July to August, with approximately 300 reservoirs representing less than 50% of the average annual storage rate. This manifested in a two-phase curve which showed increases and decreases in June and August. Based on the rainfall in July, 107 regions experienced drought frequencies typically occurring once every 200 years or more. This resulted in damages such as dry rice paddies (2,153 ha) and withering field crops (20,254 ha). The Korea Rural Community Corporation minimized drought damage by promoting the smooth management of agricultural water supply through the installation of pumped storage reservoirs and direct input of maintenance costs. A comprehensive analysis of the 2018 drought reveals that agricultural water management is not standardized based on factors such as crop type, cultivation timing, and cultivation scale. Consequently, there is a demand for ongoing water management and the formulation of region-specific drought management measures.

Keywords: Agricultural drought, Irrigation, Reservoir storage, Response strategy

© Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

최근 전 세계적으로 이상기후 발생으로 인한 홍수 및 가뭄, 산불과 같은 자연재해가 빈번하게 관측되고 있다(Chikamoto et al., 2020; Fischer and Knutti, 2015; Sung et al., 2017). 미국 캘리포니아 경우 지난 20여년간 기후변화로 인해 유난히 따뜻하고 건조한 환경으로 끊임없는 가뭄 상황을 겪었으며, 특히 2012~2016년 가뭄은 주 역사상 가장 심각한 가뭄 중 하나로 약 20만ha 농경지를 휴경에 이르게 만들었다(California Department of Water Resources, 2021). 우리나라의 경우에도 2000년 이후 농업가뭄 발생빈도가 증가하였으며, 2014년부터 2018년까지 연속적인 가뭄 발생으로 인해 광범위한 지역에서 피해가 발생하기도 하였다(Jeon et al., 2017; Kim et al., 2020).

이러한 재해 발생은 안정적인 물 공급을 위한 수자원 계획 수립의 불확실성을 증대시키며, 대비책 마련에 어려움을 가중시키고 있다(Lee et al., 2019). 특히, 가뭄은 가장 피해가 큰 재해 중 하나로 다양한 과정의 영향을 받는 복합적인 현상으로 원인과 결과에 대한 단순한 설명이 어렵다(Cook et al., 2018; Lee and Son, 2016; Yoo et al., 2010). 최근 우리나라에서는 이러한 농업가뭄으로 인한 피해가 더욱 빈번하게 발생하고 있다.

일반적으로 농업가뭄은 작물의 생장 중 농업용수 공급이 필요한 시기에 용수 부족이나 지속되는 폭염으로 발생한다(Oh et al., 2022). 특히 우리나라 밭작물의 경우, 저수지 등으로부터 관개용수를 공급받는 논작물과 다르게 강우를 통해 용수를 공급받는 경우가 대부분으로 기후변화에 의한 가뭄에 취약하다(Jeon et al., 2021; MOLIT, 2016; Mun et al., 2020; Yoon et al., 2020). 하지만 최근 논작물도 1년 빈도 한발에도 피해를 받을 수 있는 수리답이 25%에 달하고 있으며, 향후 강우의 변동성이 증가한다면 가뭄의 빈도 및 기간이 장기화되는 등 피해가 빈번해질 것으로 예상된다(Lee, 2015).

이에 따라, 농업가뭄의 원인을 파악하고 대책을 마련하기 위해 많은 연구가 추진되었다. Kwak et al.(2022)의 연구에서는 가뭄의 상태나 진행정도를 정의하기 위해 기상 및 용수공급 여건을 고려한 가뭄지수를 활용하였고, 가뭄 평가를 위하여 위성영상을 기반하거나 실측한 토양수분과 증발산량 등 자료를 이용하기도 하였다(Hong et al., 2016; Jeon et al., 2021). Shin et al.(2023)은 밭작물의 시기별 필요수량과 다양한 수원의 용수공급량을 파악하여 가뭄을 시계열로 분석하였으며, 수리시설물의 공급량을 고려하기 위해 Jang et al.(2019)의 연구에서는 우리나라 124개 농업용 양수장에 대한 실태조사를 통해 농업가뭄에 대한 양수장의 취약도를 평가하기도 하였다.

최근 빈번하게 발생하고 있는 농업가뭄은 장기간의 기상여건을 고려해야 하며, 영농시기와 같은 작물의 생장 상태 등을 파악해야 하기 때문에 종합적인 평가가 필요한 실정이다. 또한, 농업가뭄 이해당사자들이 대응할 수 있는 대책 마련이 수반되어야 한다.

따라서 이상 가뭄이 발생했던 2018년을 대상으로 하여 가뭄에 대한 종합적인 평가를 하고자 하였다. 2018년의 가뭄은 이전 가뭄과는 다르게 우리나라 기후 특성상 장마와 집중호우가 내리는 여름철에 발생하는 양상을 보였다. 따라서 본 연구에서 2018년 가뭄 특성을 나타내는 기상자료, 저수율 자료, 가뭄현황, 이수안전 현황을 조사하여 분석하였으며, 그 결과를 바탕으로 종합적인 평가를 실시하였다. 본 연구와 같이 예측이 불가한 형태의 가뭄 발생에 효과적으로 대응방안을 마련하고, 구조적인 대책과 함께 비구조적 대책이 수행될 수 있는 기초자료로 활용하고자 한다.

연구 방법

본 연구에서는 2018년 농업가뭄의 원인을 분석하고 현황을 조사하여 가뭄에 대한 종합적인 평가를 하고자 하였다. 농업가뭄은 기상적 요인 외에 작물 재배면적, 작물 생장 상태, 농업용수의 저수량 등 복합적인 영향에 의해 발생한다.

따라서, 전국을 대상으로 하여 강수량, 기온 등의 기상자료와 농업용 저수지의 저수율 등의 자료를 수집하였다. 기상자료는 기상청(https://data.kma.go.kr/)의 전국 종관기상관측소(ASOS: Automated Synoptic Observing System)를 기준으로 수집하였으며, 농업용 저수지의 저수율은 한국농어촌공사(https://www.alimi.or.kr/)의 농업용저수지 저수율 현황 자료를 사용하였다. 논가뭄 및 밭가뭄 현황은 농어촌공사 ADMS 농업가뭄관리 시스템(http://adms.ekr.or.kr) 자료를 활용하였다. 수집된 자료는 영농기 종점인 10월(2018년 10월 27일)을 기준으로 하였으며, 비교를 위해 평년 및 2017년 자료를 함께 수집하였다. 또한, 가뭄발생지역 현황은 농어촌공사에서 작성한 2018년 농업가뭄평가종합분석 자료를 사용하여 작성하였다. 수집된 자료들을 종합적으로 분석하여 2018년 가뭄 원인 및 대책을 파악하고자 하였다.

연구결과 및 고찰

기상자료 분석

강수량 분석

농업가뭄이 발생하였던 2018년 1월부터 10월까지 누적 강수량은 1,303.5 mm로, 평년(1,231.5 mm)의 105.8% 수준을 보였다(Fig. 1). 여기서, 평년은 2018년 기준으로 최근 30년간 누년평균값을 의미한다. 전국적으로 영농기 시점(3 – 5월) 및 영농기 종점(10월)에 평년보다 많은 비가 내렸으나 1 – 2월 초와 7 – 8월 말 평년보다 적은 강수량이 나타났다(Fig. 2). 특히, 2018년 7월은 제 7호 태풍 '쁘라삐룬' 영향으로 비가 내렸으나 장마의 이른 종료로 전국 평균

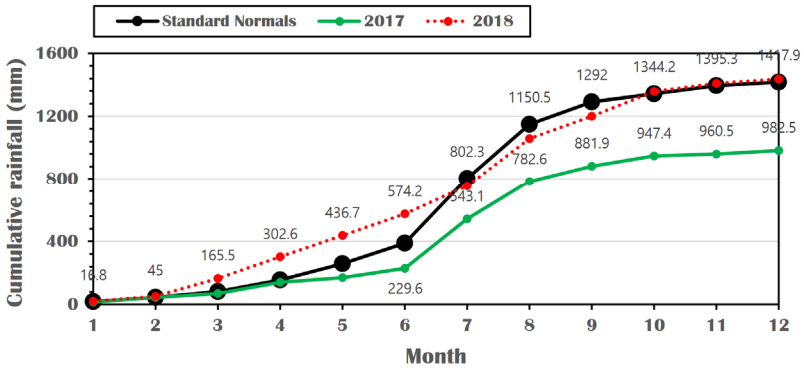


Fig. 1. Cumulative rainfall by year.

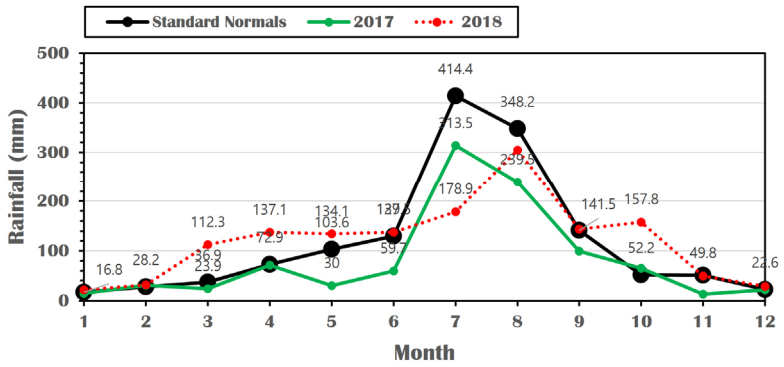


Fig. 2. Monthly rainfall by year.

172.3 mm로, 평년(289 mm)의 60% 수준으로 평년보다 적은 강수량 기록하였다. 7월 1일부터 7월 5일까지 누적 강수량은 145.2 mm로 평년이상 수준 유지하였으나, 7월 6일부터 7월 31일까지 27.1 mm로 평년의 11% 내외로 강수가 매우 부족한 상황이었다. 또한, 장마가 끝난 7월 11일 이후로는 국지적인 소나기 외에는 무강우 지속되었으며, 9일 이후 남부지방 및 제주도 장마 종료, 11일 이후 중부지방 장마 종료로 1973년 이후 장마기간이 두 번째로 짧은 해로 기록되었다. 8월에는 전국 평균 282.1 mm로, 평년(272 mm)의 104% 수준이었으며, 8월 중순까지는 대부분 지역의 강수량이 적었으나 8월 21일 이후 제 19호 태풍 '솔릭' 상륙 이후 전남·제주·지리산·태백산맥 부근 중심으로 많은 강우로 평년 수준을 회복하였다.

2018년 1월부터 10월까지 지역별 누적 강수량은 Table 1과 같고, 인천광역시와 경기도가 평년대비 각각 90.0%, 87.4%로 낮았으며, 그 외의 지역은 101.7 – 119.3%까지 높게 나타났다. 또한, 최대무강우 일수 및 누적강수량은 Table 2와 같고, 2018년 장마(7월 10일) 이후부터 태풍 솔릭 북상 이전(8월 21일) 기간 동안 전국적으로는 27일(7월 10일 – 8월 5일)의 최대 무강우일수를 기록하였으며, 지역별로는 충남 43일, 인천 40일, 제주 33일 등으로 무강우일수가 조사되었다. 이 기간 동안 전국적으로 50.5 mm 누적강수를 기록하여 평년대비 13.1%로 강수량이 낮았으며, 지역별로는 인천 4 mm, 전북 10.5 mm, 충남 12.7 mm 등 낮은 누적강수량 기록하였다.

전국의 최대 무강우일수 기간이 벼 생장시기 중 수량이 가장 많이 필요한 시기인 유수형성기(수잉기)와 겹쳐 2018년 가뭄 발생과의 연계성이 높은 것으로 판단되었다(Table 3). 또한, 밭작물은 관개시설이 논보다 열악하므로 밭작물의 생육은 무강우일수와 연관성이 높아 최대 무강우일수 기간에 밭작물 생육저하 등 가뭄피해가 발생한 것으로 판단된다.

Table 1. Accumulated precipitation by province (~2018.01.01 - 2018.10.27)

Contents	Country	Incheon	Gyeong-gi	Gang-won	Chung-buk	Chung-nam	Jeonbuk	Jeon-nam	Gyeong-buk	Gyeong-nam	Jeju
2018 (mm)	1,303.5	1,044.8	1,101.4	1,324.0	1,287.6	1,222.7	1,255.8	1,343.9	1,264.4	1,498.7	1,917.8
Normal year (mm)	1,231.5	1,160.3	1,260.5	1,275.5	1,205.0	1,194.0	1,196.4	1,321.9	1,059.9	1,364.5	1,658.6
Percentage* (%)	105.8	90.0	87.4	103.8	106.9	102.4	105.0	101.7	119.3	109.8	115.6

* The percentage of accumulated precipitation in 2018 in relation to normal year accumulated precipitation.

Table 2. Maximum dry period and accumulated precipitation from July 10 to August 21, 2018

Contents	Country	Incheon	Gyeong-gi	Gang-won	Chung-buk	Chung-nam	Jeonbuk	Jeon-nam	Gyeong-buk	Gyeong-nam	Jeju
Accumulated precipitation (mm)	50.5	4.0	48.7	150	34.8	12.7	10.5	16.0	59.9	44.3	35
Normal year (mm)	385.4	421.5	482.6	433.8	418.1	385	359.3	361.8	318.8	390.2	359.9
Percentage* (%)	13.1	0.9	10.1	34.6	8.3	3.3	2.9	4.4	18.8	11.4	9.7
Maximum dry period (days)	7.10 – 8.5	7.12 – 8.21	7.29 – 8.20	7.12 – 8.4	7.10 – 7.27	7.10 – 8.21	7.10 – 8.10	7.10 – 8.9	7.10 – 8.9	7.10 – 8.5	7.10 – 8.10
	27	40	23	24	18	43	32	31	31	27	33

* The percentage of accumulated precipitation in relation to normal year accumulated precipitation from July 10 to August 21.

3.1.2 기온 분석

2018년 10월까지 평균 기온은 14.7°C로 평년 기온보다 0.3°C 높았으며, 특히 7 – 8월에는 평년보다 1.3°C 이상 높게 나타났다(Table 4, Fig. 3). 고기압과 중·하층 북태평양 고기압의 장기간 영향으로 전국 평균기온과 최고기온이 1973년 이래 가장 높게 나타났고, 지역별 일 최고기온은 8월 1일에 홍천 41°C, 서울 39.6°C로 관측 이래 최고치였다. 한편, 폭염은 일 최고기온이 33°C 이상인 날의 일수를 나타내는 것으로 밭작물의 생육저하 및 고사에 큰 영향을 미친다. 2018년 폭염일수는 총 31.5일이었으며, 7월 15.5일, 8월 14.3일 등을 기록하며 평년보다 높은 폭염일수를 기록하였다(Fig. 4).

Table 3. Paddy crop growth stages and water demand (unit : mm)

Contents	Seedbed Preparation stage	Vegetative and reproductive growth stage					
Growing period	Seedbed installation and watering	Rice transplanter	Effective tillering stage	Non-productive	Panicle formation stage (booting stage)	heading stage (initial ripening stage)	ripening stage
Total (164 days)	4.11 – 5.10 (30 days)	5.11 – 6.10 (31 days)	6.11 – 7.5 (26 days)	7.6 – 7.15 (10 days)	7.16 – 8.10 (26 days)	8.11 – 8.31 (21 days)	9.1 – 9.20 (20 days)
801 (100%)	13 (2%)	103 (13%)	209 (26%)	37 (5%)	189 (24%)	134 (17%)	116 (14%)

Table 4. Difference of monthly mean temperature between standard normal year and 2018 (unit: °C)

Contents	Mean	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
2018 (A)	14.7	-2	-0.2	8.1	13.3	17.8	22.2	26.8	27.3	20.4	13.6	7.7	0.8
Normal year (B)	14.3	-1.3	0.7	6.9	12.5	17.3	21.5	25.4	26.0	20.5	14.1	7.6	1.2
Difference (A-B)	0.3	-0.7	-0.9	1.2	0.8	0.5	0.7	1.4	1.3	-0.1	-0.5	0.1	-0.4

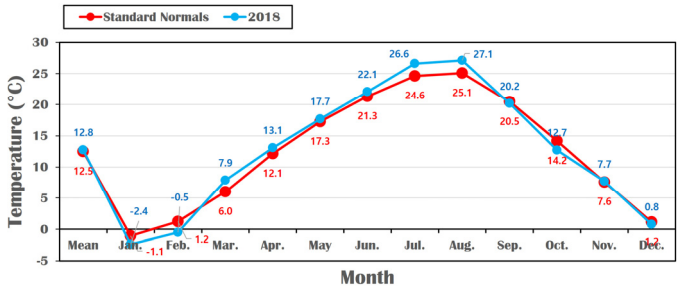


Fig. 3. Comparison of monthly mean temperature between standard normal year and 2018.

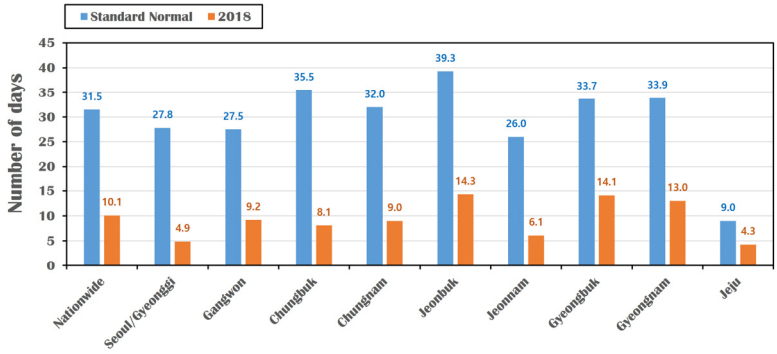


Fig. 4. Comparison of heatwave days between standard normal year and 2018.

저수율 자료 분석

Fig. 5는 2017년, 2018년과 평년의 전국 저수율을 나타내고 있다. 2018년 그래프에서 영농기 전인 1 – 2월에는 평년 이하 저수율을 유지하다 3월 이후부터 평년 이상 저수율을 보이는 것을 확인할 수 있으며, 이에 따라 봄철 안정적인 용수 공급이 추진되었다. 하지만 7월 중반부터 8월 중반까지 낮은 강수량으로 인하여 8월 말 전국적으로 최저 저수율을 기록하였으나, 이후 평년 이상으로 회복하여 대부분 지역의 용수공급에 차질이 없었다. 2017년과 2018년의 저수율은 영농기 5월 말 강수 부족으로 저수율이 저하되었으나, 장마 시작(6월 말)으로 저수율 회복하였고, 7월 중순에서 8월 중순 무강우 일수 지속 및 강수 부족으로 저수율이 저하되었으나, 8월 말 태풍 솔릭 이후 저수율을 회복하였다(Table 5).

월별 저수율은 Table 7와 같이 전국과 대부분 지역에서 평년 이상을 유지하였고, 경기도, 충청남도, 전라남도 등 일부 지역 경우 7월과 8월에 평년 이하 저수율을 보였다. 1월과 2월 비영농시기로 낮은 강수량에 의해 평년 이하의 저수율을 보이지만 3월과 4월은 강우와 저수지 물채우기 등 선제적 용수확보를 통해 남부지역의 나주, 담양, 경주 등을 제외하고 대부분 지역은 평년 이상의 저수율을 유지한다. 5월과 6월에는 전국적으로 이앙과 본답기 시기에 따른 급수로 저수율이 하락하였으나, 강수와 용수확보로 평년대비 높은 저수율 유지하여 용수공급이 원활하였다. 7월초에는 장마에 따른 누적강수(145.2 mm)로 저수율이 상승하였으나, 이후 지속되는 무강우 및 폭염으로 인해 저수율이 급락하였고, 8월말 회복하였다. 7월 중순 이후 지속된 무강우 현상으로 인해 벼 생육기간 중 용수공급이 가장 많이 필요한 7 – 8월(유수형성기)에 일부 지역 저수율 최저인 상태로 논 물마름 현상 발생하였다.

가뭄현황 분석

농업가뭄은 2000년에서 2010년까지 6회 발생하였고, 2012년 이후에는 매년 발생하여 가뭄의 발생 빈도가 점차적으로 증가하는 추세로 나타났다(Fig. 6). 최근 가뭄 발생현황을 조사한 결과 2008년 가을부터 2009년 겨울에는 전국적으로 평년대비 낮은 저수율을 보여 대응이 추진되었다. 2012년부터 매년 논 물마름, 밭작물 시듦 등 가뭄발생면적

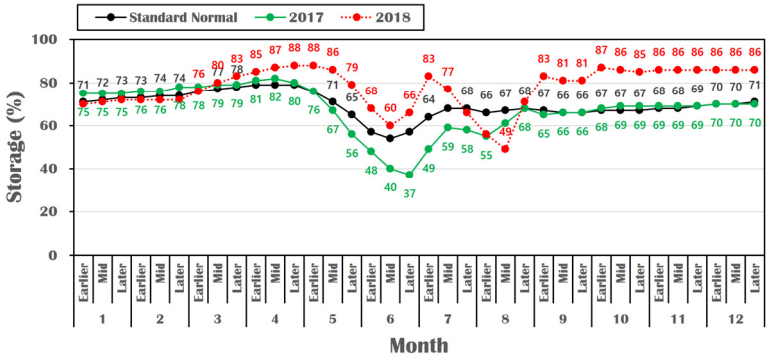


Fig. 5. Monthly mean storage rate in South Korea.

Table 5. Monthly mean storage rate in South Korea (unit: %)

Contents	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
2018 (A)	70.2	70.6	82.3	89.0	78.7	64.5	66.2	75.3	83.2	86.9	86.0	86.0
Normal year (B)	71.1	73.1	75.9	77.5	64.7	52.6	66.4	67.4	64.3	65.9	68.3	70.3
Percentage* (%)	98.7	96.6	108.4	114.8	121.6	122.6	99.7	111.7	129.4	131.9	125.9	122.3

* The percentage of accumulated precipitation in relation to normal year accumulated precipitation from July 10 to August 21.

이 발생하였으며, 2014년 5,173 ha에서 2016년에는 39,826 ha까지 가뭄면적이 나타났다.

2015년에서 2017년 가뭄발생 시·군 현황은 Fig. 7과 같다. 가뭄발생 지자체 수는 2015년 39개, 2016년 85개, 2017년 107개로 매년 점차 증가하였다. 가뭄 발생 지역은 2015년 경기 강화 일대, 2016년 충청남도 일대, 2017년 경기 안성 및 충남 서북부 일대 등에 가뭄 현상이 나타나는 등 국지적인 가뭄 발생 특성을 보였다. 가뭄발생 면적(Table 6)은 2015년 7,358 ha, 2016년 39,826 ha, 2017년 9,457 ha로 나타났다. 전국적인 강수량은 평년 이상으로 나타났지만, 무강우 일수 및 폭염일수 지속 시기가 작물 생육을 위한 용수공급 필수 시기와 같을 경우 가뭄 발생 면적 확대되는 것으로 보인다.

2018년에는 7월 장마 종료 이후 8월 태풍 '솔릭' 영향 전까지 강수 부족과 폭염 지속에 따른 논 물마름 2,513 ha, 밭작물 시듦 20,254 ha 등 총 22,767 ha 면적에서 가뭄이 발생하였다. 벼 생육기간에서 농업용수량이 가장 많이 필요한 유수형성기인 7 – 8월에 낮은 강수량으로 일부 저수지 저수율이 급락하는 모습을 보였는데, 7월 평년대비 50% 미만

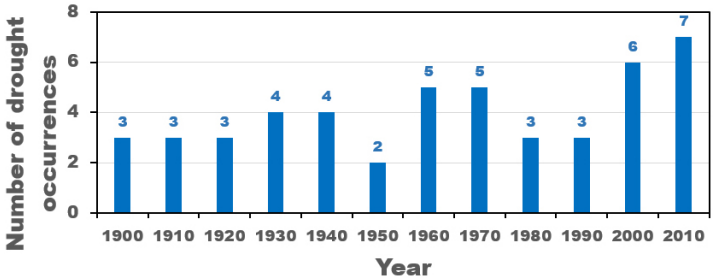
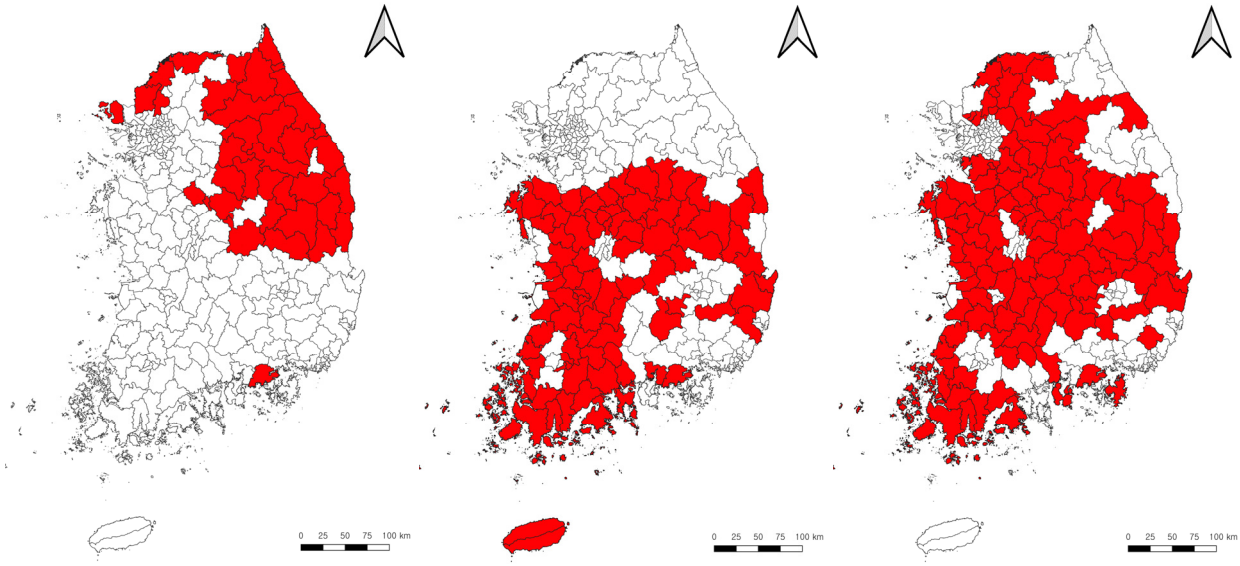


Fig. 6. Number of drought occurrences per decade (~1900 - 2018).



(a) 2015 (b) 2016 (c) 2017

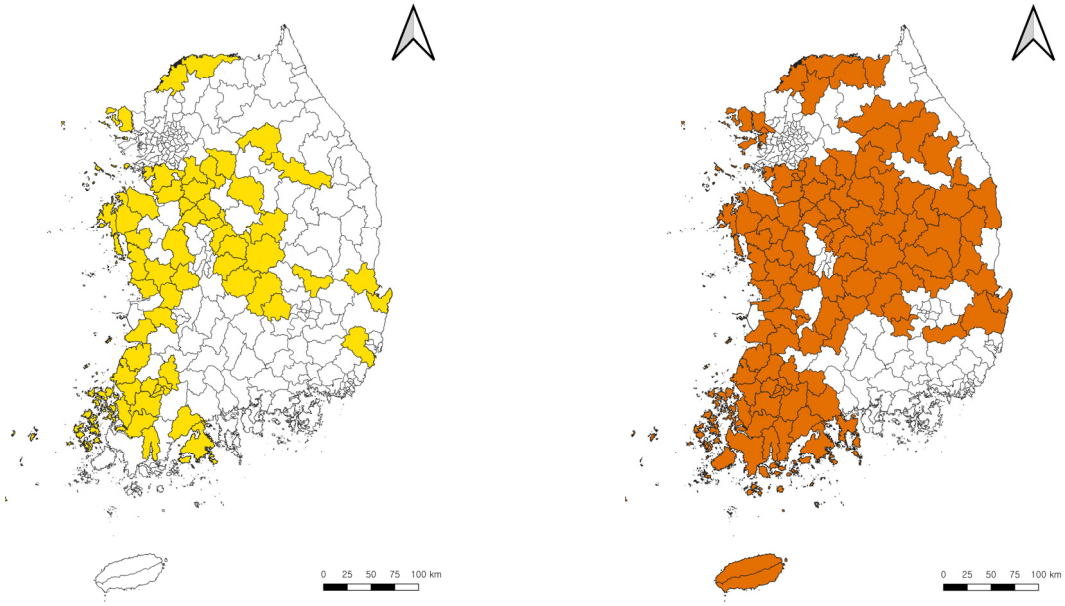
Fig. 7. Drought occurrence areas by province in South Korea (~2015 - 2017).

Table 6. Drought area by year (~2012 - 2018)

Contents	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Paddy (ha)	5,000	3,065	5,173	2,822	10,241	7,780	2,513
Upland (ha)	6,500	4,303	0	4,536	29,585	1,677	20,254

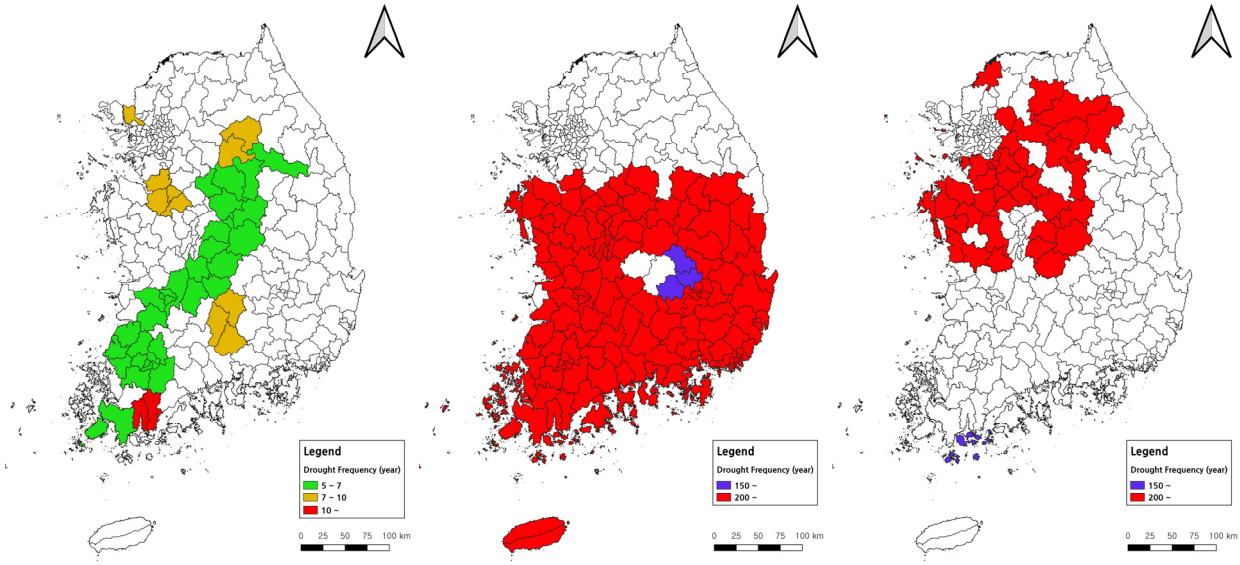
저수지가 21개소에서 8월 300개소 이상이 나타나며 논물마름 현상 발생하였다. 밭작물 경우 토양수분 감소 및 지온 상승시 생육저하가 일어나는데, 전국적인 장기간 무강우와 함께 7 – 8월 폭염일수가 평년보다 2배 이상을 기록하면서 밭 작물의 생육 저하를 초래하였다. 인천광역시 강화군, 강원도 횡성군 등 55개 시군에서 논 가뭄이 발생하였으며, 제주특별자치도 제주시, 강원도 홍천군 등 100개 시군에서 밭작물 시듦 현상이 발생하였다(Fig. 8).

2018년의 강수량 및 저수율에 따른 가뭄빈도는 Fig. 9와 같다. 가뭄빈도를 1월에서 8월까지 누적강수량 기준으로 산정한 결과 10년 가뭄빈도 해당지역은 2개였으나, 무강우가 장기간 지속되었던 7월의 경우 200년 이상 가뭄빈도 발



(a) Paddy condition under water-deficit (b) Upland condition under wilting point

Fig. 8. Drought conditions by province in South Korea in 2018.



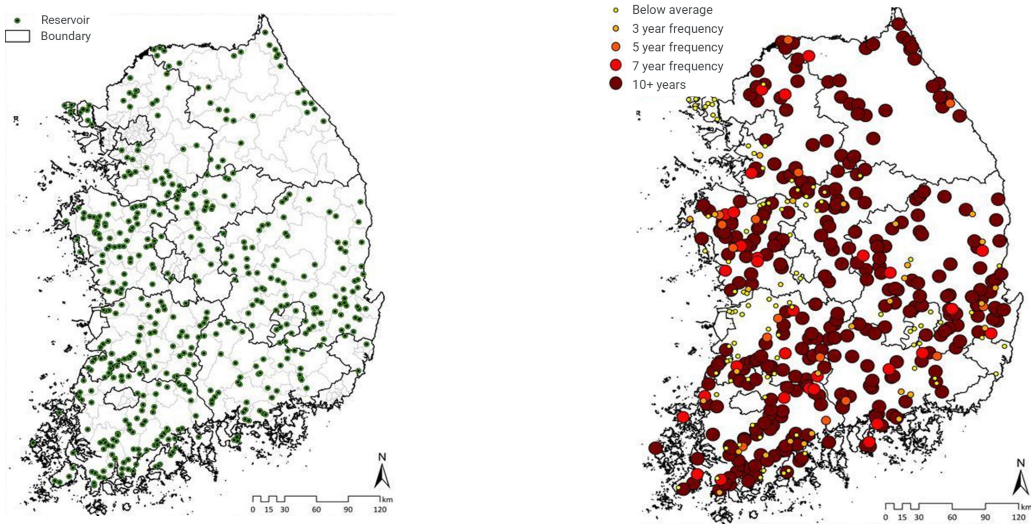
(a) Based on accumulated precipitation (b) Based on precipitation in July (c) Based on storage rate in August

Fig. 9. Drought frequency by province in South Korea in 2018.

생 지역이 부산시 기장군, 대구시 달성군 등 107개로 나타났다 저수율을 기준으로 산정한 결과, 200년 이상 가뭄빈도는 광주광역시, 경기도 수원시 등 45개 지역에서, 150년 이상은 전라남도 완도군에서 발생한 것으로 나타났다.

이수안전 현황 분석

농업용 저수지의 이수안전도 평가를 위해 한국농어촌공사 관할 저수지 중에서 주수원공이면서 유효저수량 100만톤 이상인 저수지를 시험지구로 선정하였으며, Fig. 10과 같이 전국적으로 466개의 저수지가 이에 해당되었다. 수혜면적에 따른 유역면적의 비로 유역배율을 계산하여 전국 도별로 비교한 결과, 도별 평균 유역배율은 강원도가 7.9로 가장 크고 전라북도가 3.9로 가장 작으며 전국 평균 유역배율은 4.5로 나타났다. 농업용 저수지의 이수안전도를 한발



(a) Monitoring reservoirs to analyze drought frequency (b) Drought frequency analysis results

Fig. 10. Drought frequency analysis results for monitoring reservoirs.

Table 7. Comparison between drought frequency in agricultural reservoir and monitored paddy drought area

Conte-nts	Reser-voir	Irrigation area (ha)	RIW*	Useful storage (million m^3)	Drought Frequency	Paddy drought area (ha)			
						2016	2017	2018	Total
Ansung	Gosam	2,970	**2**	15,217	**2**	0	365.0	48.0	**413.0**
	Geumgwang	1,906	**3**	12,047	**2**	0	365.0	48.0	**413.0**
Borye-ong	Cheongcheon	2,638	**3**	20,753	**2**	69.0	285.0	48.0	**402.0**
Seoch-eon	Dongbu	2,477	**1**	10,734	**2**	188.0	0	72.0	**260.0**
Young-Kwang	Bulgap	3,218	**1**	15,200	**2**	619.0	328.0	1.0	**948.0**
Yongin	Idong	2,152	**4**	20,906	**10**	0	63.0	1.0	**64.0**
	Gijeung	1,226	**4**	11,630	**10**	0	63.0	1.0	**64.0**
Gang-neung	Obong	380	**29**	12,708	**10**	0	7.6	0	**7.6**
Cheor-won	Tokyo	1,314	**2**	17,412	**10**	0	1.5	16.0	**17.5**
Gyeong-ju	Dukdong	1,069	**5**	22,537	**10**	7.0	34.0	0	**41.0**

*RIW: ratio of irrigation and agricultural reservoir watershed area.

빈도 개념으로 적용하고 현 기상조건을 고려하여 분석한 결과, 72개 저수지가 평년 이하, 316개 저수지가 10년 이상 한발빈도를 갖는 것으로 분석되었다. 지역별로는 강원도의 34개 저수지 중 91%인 31개, 전라북도의 66개 중 56%인 37개 저수지가 10년 이상 한발빈도를 갖는 것으로 분석되었다.

한발빈도별 가뭄발생 현황을 분석하였다(Table 7). 유효저수량이 천만톤 이상이고 평년이하 한발빈도를 가진 5개 주요 저수지의 2016년부터 2018년까지 논 가뭄발생면적은 260.0 ha에서 948.0 ha였으며, 10년 이상인 5개 주요 저수지 지역의 가뭄발생면적은 7.6 ha에서 64.0 ha로 나타났다.

결 론

우리나라에서 농업가뭄에 대한 대책으로 수행된 사업은 다음에 서술하였다. 2018년 정부에서는 강수량 저조했던 1 – 2월에 봄철 영농기를 대비하여 가뭄 우려 지역인 27개 저수지, 6,838 ha에 양수펌프 및 송수시설 등의 지원을 하였다. 또한, 7월과 8월에 무강우 및 폭염에 따른 가뭄 우려지역 17,193 ha에 한발대비용수개발사업 시행하였다. 한발대비용수개발사업은 2018년 세 차례에 걸쳐 시행되었으며, 2·3차에는 관개가 어려운 밭작물을 중심으로 관정 개발, 하상 굴착, 물막이 등을 추진하였다. 또한, 우리나라 정부는 관계부처 합동 상시가뭄관리체계를 운영하며 관계기관 협업을 통해 농업용수 비상급수를 실시하였으며, 한국농어촌공사에서는 2017년 9월부터 2018년 영농기까지 농업용수 부족이 우려되는 128개소 저수지를 대상으로 가용수 2,594만 톤 규모의 사전 용수를 확보하였다. 이와 같이, 2018년에 정부에서 시행한 농업가뭄 대응 대책 사업은 주로 구조적인 대책으로 추진되었다(Table 8).

가뭄에 효과적으로 대응하기 위해서는 구조적 대책과 함께 비구조적 대책이 복합적으로 수행되어야 한다. 여기서, 구조적 대책이은 2018년 정부에서 시행한 가뭄 대응 사업과 같이 농업수리시설에 대한 내한 능력 증대를 위한 개보수나 보강, 재개발 및 신설 등이 포함된다. 비구조적 대책은 물관리를 근간으로 하여 가뭄 대책 체계 개선으로 단기적인 가뭄 대책, 참여형 관개관리, 가뭄대응체계 개선, 법령 정비 등을 포함하고 있다(Choi, 2015).

한편, 가뭄에 대응하기 위해서는 가뭄 취약 지역을 파악하여 선제적으로 가뭄에 대응하는 것이 중요하지만, 농업가뭄 취약 지역에 대한 정의, 지역 선정 범위, 지표 등이 명확하게 설정되어 있지 않아 체계적인 지역별 가뭄 관리 및 대응에 한계가 있다. 또한 가뭄의 선제적 대응을 위해서는 가뭄 상황에 대한 진단, 예측 기술이 요구되며, 가뭄 분석 및

Table 8. Implemented agricultural drought measures in 2018

Contents	Agricultural drought measures	Implemented proeject
Preliminary measure	Fill resevoir with water, secure a simple pumping station (preemptive response)	• Simple pumping station: Obong, Dagae, Galjeon, Geunchon, and Dangbuk district • Temporary pumping station: Bomun district • Reservoir water filling: Jinrye and Jisan distrcit
Emergency measure	Instruction extraction well, fresh water direct supply, riverbed excavation, dredging	• Simple pumping station: Hangok district • Direct water supply: Daeho freshwater lake and Geumgang water supply • Emergency water supply: Nakdong district • Pump replacement: Jangan pumping station
Long-term measure	Promoting water supply system by jointing reservoir, weir, pumping satation	• 4 district of the Yeongsan River • Development of multipurpose rural water in Pangyo district • Reorganization of rural water supply system

Table 9. Improvements for efficient drought response in the future

Improvements	Details
Advanced drought prediction	• Advanced drought prediction technology and algorithms
Establishment of standards for drought-prone areas	• Establishment of concepts and standards for drought-prone areas • Establishment of regional customized drought response support plan
Establishemnt and operation water conservation governance	• Development of water conservation technology reflecting drought characteristics by region • Establishment of locally water conservation governance
Development of reservoir operation rule to cope with drought	• Development agricultural operation rule based on scientific and statistical analysis to cope with drought

예측 기술에 대한 연구 개발이 지속적으로 이루어져야 한다. 우리나라의 농업용수 공급은 저수지에 의존됨에 따라, 관행 및 경험에 의존한 저수지 운영이 아닌, 과학적·통계적 기법에 기반한 농업용 저수지의 운영 기준 및 관리 기준이 확립될 필요가 있다(Table 9). 현재, 농촌진흥청에서는 농업기상재해 조기경보 시스템(http://agmet.kr)을 현재 기상 상황 및 가뭄 상황에 대한 정보를 제공하고 있다. 가뭄의 경우 장기적으로 발생되며, 가뭄 기간에 가용한 수자원은 한정적이다. 가뭄으로 인한 피해를 완화하기 위한 선제적 대책이 수행되기 위해서는 가뭄 현황뿐만 아니라 장·단기간에 대한 가뭄 예측이 요구된다.

본 연구에서는 최근 이상기후로 인하여 발생하고 있는 농업가뭄의 특성을 종합적으로 분석하고자 하였으며, 가뭄의 원인 및 현황을 평가하기 위해 2018년에 발생했던 농업가뭄을 대상으로 하였다. 2018년 가뭄은 농업용수 공급이 가장 많이 필요한 시기인 유수형성기(7 – 8월)에 평년보다 적은 강수 및 폭염이 지속됨에 따라 저수율 저하와 토양수분 감소로 농업가뭄이 발생하였다. 하지만, 대규모 양수장이 포함된 일부 영농 지역에서는 하천에서 취수가 가능하여 가뭄으로 인한 피해가 크지 않았던 것으로 분석되었다. 한편, 연도별로 누적 강수량을 비교한 결과, 낮은 누적 강수량을 기록하는 연도일수록 가뭄 발생이 많았으며, 저수지의 한발빈도 등에 따라서도 가뭄 피해 면적은 크게 차이가 나는 것으로 분석되었다. 농업용수는 재배 작물, 재배 시기 및 경작 규모 등에 따라 관리 방법이 정형화되어 있지 않기 때문에 상시 물관리 및 지역 맞춤형 가뭄 관리 필요하며, 최근 기후변화에 따른 강수량 변동성이 큰 시점에서 신뢰성 있고 정확도 높은 가뭄 예측 및 분석을 위한 지속적인 노력을 통하여 선제적인 가뭄 대응 및 농업용수 관리 추진 필요한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01481304)과 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 가뭄대응 물관리 혁신 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2022003610002).

인용문헌(References)

California Department of Water Resources (2021) Report to the Legislature on the 2016-2016 drought, Sacramento (CA). California Department of Water Resources, CA, USA.

Chikamoto, Y. S., Wang, S. Y., Yost, M., Yocom, L., Gillies, R. (2020) Colorado River water supply is predictable on multi-year timescales owing to long-term ocean memory. Commun Earth Environ 1:26.

Cook, B. I., Mankin, J. S., Anchukaitis, K. J. (2018) Climate change and drought: From past to future. Curr Clim Change Rep 4:164-179.

Fischer, E. M., Knutti, R. (2015) Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. Nat Clim Change 5:560-564.

Hong, E. M., Nam, W. H., Choi, J. Y., Pachepsky, Y. A. (2016) Projected irrigation requirements for upland crops using soil moisture model under climate change in South Korea. Agric Water Manage 165:163-180.

Jang, M. W., Kim, S. J., Bae, S. J., Yoo. S. H., Jung, K. H., Hwang, S. W. (2019) Assessing vulnerability to agricultural drought of pumping stations for preparing climate change (in Korean with English abstract). J Soc A gric Eng 61:31-40.

Jeon, J. C., Kim, H. D., Jeon, S. M., Cho, S. M., Kim, M. S., Choo, Y. J., Lee, J. H., Park, C. G. (2017) Analysis of upland irrigation facilities for upland drought impact assessment. The 2017 Korean Society of Agricultural Engineers Annual Conference:155, 2017, Jejusi, Jeju-do, Korea.

Jeon, M. G., Nam, W. H., Lee, H. J., Hong, E. M., Hwang, S. N., Hur, S. O. (2021) Drought risk assessment for upland crops using satellite-derived evapotranspiration and soil available water capacity (in Korean with English abstract). J Korean Soc Hazard Mitig 21:25-33.

Kim, Y. J., Choi, Y. H., Lee, S. B., Kim, M. Y., Jeon, J. G. (2020) Development of a long-slope water harvesting system in natural channel for mitigation in upland (in Korean with English abstract). J Korean Soc Agric Eng 62:111-118.

Kwak, J. S., Kim, G. S., Jung, Y. H., Um, M. J. (2022) Drought Assessment with SPI and DRI in Uiryeong-Gun (in Korean with English abstract). J Civ Environ Eng Res 42:457-467.

Lee, D., Rl, S., Choi, J., Kang, S. K. (2019) Asessment of water use vulnerability and impact to climate change (in Korean with English abstract), J Civ Eng 67:32-37.

Lee, E. G. (2015) Recent agricultural drought condition and case analysis. Mag Korean Soc Agric Eng 57:2-12.

Lee, T. S., Son, C. Y. (2016) Analyzing the drought event in 2015 through statistical drought frequency analysis (in Korean with English abstract). J Korea Water Resour Assoc 49:177-186.

Ministry of land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2016) Statistical analysis of water resource in South Korea. Sejong-si, Korea.

Mun, Y. S., Nam, W. H., Jeon, M. G., Kim, H. J., Kang, K., Lee, J. C., Ha, T. H., Lee, G. Y. (2020) Evaluation of regional drought vulnerability assessment based on agricultural water and reservoirs (in Korean with English abstract). J of the Korean Soc Agric Eng 62:97-109.

Oh, Y. R., Lee, G. M., Shin, H. J., Jun, K. S., Lee, J. N., Lee, J. W., Do, J. W. (2022) AI-based drought disaster prediction techniques using weather and emergency water supply data (in Korean with English abstract). J Agric Life Sci 56:87-93.

Shin, h. J., Lee, J. Y., Lee, B. H., Lee, J. N., Cha, S. S., Hwang, S. A., Park, C. G. (2023) Time series analysis of drought considering the required quantity and supply of field crops (in Korean with English abstract). J Agric Life Sci 57:99-107.

Sung, J. H., Chae, K. S., Kim, D. E. (2017) The effects of droughts and public investments in irrigation facilities on rice yields in Korea (in Korean with English abstract). Korean J Agric For Meteorol 19:293-303.

Yoo, J. Y., Choi, M. H., Kim, T. W. (2010) Spatial analysis of drought characteristics in Korea using cluster analysis (in Korean with English abstract). J Korea Water Resour Assoc 43:15-24.

Yoon, D. H., Nam, W. H., Lee, H. J., Hong, E. M., Kim, T. (2020) Drought hazard assessment using MODIS based evaporative stress index (ESI) and ROC analysis (in Korean with English abstract). J of Korean Soc Agric Eng 62:51-61.