



Development of evaluation methodology for prioritizing regional water supply: focusing on damage sensitivity to water usage

Cha, Hoyoung^a · Jun, Changhyun^b · Yoo, Do Guen^c · Lee, Seo Yun^d · Lee, Seung Yeon^e · Kim, Tae-Woong^f · Baik, Jongjin^{g*}

^aPh.D. Student, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul, Korea

^bAssociate Professor, School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul, Korea

^cAssociate Professor, Department of Civil Engineering, The University of Suwon, Suwon, Korea

^dMaster Course, Department of Civil Engineering, The University of Suwon, Suwon, Korea

^eMaster Course, Department of Civil Engineering, The University of Suwon, Suwon, Korea

^fProfessor, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University, Ansan, Korea

^gResearch Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Chung-Ang University, Seoul, Korea

Paper number: 24-101

Received: 5 November 2024; Revised: 28 November 2024 ; Accepted: 29 November 2024

Abstract

This study introduces Damage Sensitivity to Water usage (*DSW*) and proposes a methodology to prioritize regional water supply during drought periods. The *DSW* quantifies the impact of water usage on changes in drought damage by region, with higher indicating areas that should be prioritized for water management. The study focused on administrative districts within the Geum, Yeongsan, and Seomjin river basins from 2018 to 2021, calculating *DSW* for each region. To build a machine learning based regression equation, three types of input data were collected: meteorological factors from the KMA Weather Data Service, regional factors related to agriculture, domestic, and industry from the Korean Statistical Information Service, and water usage data from the Water Resources Management Information System. The output data, Relative Drought Damage, was derived from drought warnings, direct damage, and water support during droughts, as recorded by the National Drought Information Statistics. The regression model was then trained, and drought damage was estimated for each region under scenarios of 50% reduction and 200% increase in water usage. *DSW* was calculated based on the differences in results, and regions were ranked accordingly. Muju-gun, Jeollanam-do was identified as highly sensitive in terms of agricultural water, while Gyeryong-si, Chungcheongnam-do and Gurye-gun, Jeollanam-do were most sensitive for domestic and industrial water. Based on these results, regions with high *DSW* were considered as areas requiring management of specific water usage, depending on agricultural, domestic, or industrial water. This methodology provides a tool for setting regional water supply priorities at the national level.

Keywords: Damage Sensitivity to Water usage, Relative Drought Damage, National Drought Information Statistics, Geum/Yeongsan/Seomjin River basin, Water supply priority

용수 공급의 지역별 우선순위 선정을 위한 평가 방법론 개발: 용수 대비 피해 민감도를 중심으로

차호영^a · 전창현^b · 유도근^c · 이서윤^d · 이승연^d · 김태웅^e · 백종진^{f*}

^a고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정, ^b고려대학교 건축사회환경공학부 부교수, ^c수원대학교 토목공학과 부교수, ^d수원대학교 토목공학과 석사과정, ^e수원대학교 토목공학과 석사과정, ^f한양대학교(ERICA) 건설환경공학과 교수, ^g중앙대학교 사회기반시스템공학부 연구교수

요 지

본 연구에서는 용수 대비 피해 민감도(Damage Sensitivity to Water usage, *DSW*)를 새롭게 정의하고, 가뭄 시 용수 공급의 지역별 우선순위를 결정하는 평가 방법론을 제안하였다. *DSW*는 용수 이용량에 따른 가뭄 피해의 변화를 수치로 표현한 값이며, *DSW*가 큰 지역은 용수 관리에 있어 우선적으로 고려해야 할 지역임을 의미한다. 연구 대상지역은 2018년부터 2021년까지 금/영산/섬진강 유역 내 시·군·구 단위의 행정구역으로 선정하였다. 본 연구에서는 *DSW*를 계산하기 위해 지도학습 기반의 회귀모형을 구축하고자, 3가지 주요 입력자료를 수집하였다. 기상학적 인자는 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr>)의 기온, 강수량과 같은 지상관측자료, 지역적 특성 인자는 국가통계포털(<https://kosis.kr>)의 농업/생활/공업/공업용수 이용량 관련 데이터로 구축하였다. 용수 이용량은 국가수자원관리종합정보시스템(<http://www.wamis.go.kr>)에서 제공하는 농업/생활/공업용수 이용량으로 활용하였다. 출력자료로는 가뭄 피해를 종합적으로 평가한 상대적 가뭄 피해 등급을 이용하였다. 이 등급은 국가가뭄정보통계집에서 조사한 가뭄 예·경보 횟수, 직접적 가뭄 피해정보, 가뭄으로 인한 용수 지원량을 바탕으로 지역별로 군집화한 결과이다. 이후, 입력자료와 출력자료는 지도학습 기반의 회귀모형을 학습시키는 데 활용되었다. 학습된 회귀모형은 농업/생활/공업용수 이용량이 50% 감소하거나 200% 증가한 조건에서의 지역별 상대적 가뭄 피해 등급을 산출하는데 적용되었다. *DSW*는 산출된 등급을 활용하여 계산하였고, 지역별 우선순위를 매겼다. 그 결과, 농업용수에서는 전라남도 무주군, 생활 및 공업용수에서는 충청남도 계룡시와 전라남도 구례군이 대표적으로 *DSW*가 큰 지역으로 나타났다. 이를 통해, 농업/생활/공업용수에 따라 *DSW*가 큰 지역의 특정 용수의 관리가 필요한 지역으로 고려하였다. 본 연구에서 제안한 방법론은 향후 전국 단위에서 용수 공급 우선순위를 결정하는 지표로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 용수 대비 피해 민감도, 상대적 가뭄 피해 등급, 국가가뭄정보통계집, 금/영산/섬진강 유역, 용수 공급 우선순위

*Corresponding Author. Tel: +82-2-3290-3314

E-mail: jongjin@cau.ac.kr (Baik, Jongjin)

1. 서론

최근 다양한 국가에서는 기후변화로 인해 가뭄이 점차 극심하게 변화하고 있으며, 이를 대응하기 위해 용수 공급의 효율성을 강조하였다(Shiklomanov, 2000; Thomas *et al.*, 2014; Jun *et al.*, 2017; Marengo *et al.*, 2020; Alves *et al.*, 2023). 특히, 아시아에서는 지속해서 인구가 증가하고 있기에 수자원의 공급과 수요가 불균형이 자주 발생하며, 아시아 내 특정 국가에서는 용수 수요의 증가로 인해 용수 공급의 관리가 철저하게 이루어지도록 많은 연구들이 진행되어 왔다(Aral and Wang, 2013; Yao *et al.*, 2022; Peng *et al.*, 2023). 인도에서는 농촌 지역의 용수 공급 계획에 대한 효과를 검토하고, 경제적 평가를 통해 안정적인 물 공급에 대한 적합성을 결정하는 연구를 수행하였다(Misra, 2008). 이 연구는 농촌 용수 공급 계획의 자본 비용과 운영 및 유지관리 비용을 활용하여 공급 계획의 효율성을 지역별로 평가하였다. 중국에서는 베이징 내 용수 공급과 수요 간의 위험성을 평가하기 위한 기준을 제안하는 연구가 진행되었으며, 판별 분석을 바탕으로 용수 수요와 공급 간의 위험 평가 모델을 개발하였다(Qian *et al.*, 2014). 중국은 Baicheng 도시를 중심으로 가뭄 피해가 발생하지 않는 적정 농업용수 공급량을 확인하기도 하였다(Sun *et al.*, 2015). 다만, 해당 선행연구들은 지역의 특성을 반영하지 않거나 지역 간 비교 가능한 수치가 없다는 점에서 한계점이 존재하였다.

국내에서도 가뭄에 대비하여 인위적인 용수 공급의 효율성을 증대시키기 위한 다양한 노력이 이루어져 왔다. 이를 위해 선행연구에서는 국내에 적합한 물 수급 모델을 개발하고, 물 수급 전망 및 유역 내 물수지 분석에 관한 연구를 진행해 왔다(Hwang *et al.*, 2007; Choi *et al.*, 2011; Rim *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2018a). Choi *et al.* (2018)은 금강 유역을 대상으로 국내 기존 물수지 분석의 문제점을 파악하고, 이를 해결할 수 있는 개선 방안을 제안하였다. 해당 연구에서는 용수가 부족한 지역과 실제 제한급수 지역을 비교하여 용수 공급의 타당성을 평가하였다. 이외에도, 다른 연구에서는 수자원 시스템의 모의 운영을 통해 용수 공급의 효율성을 평가하고 기존 용수 공급 조정 기준의 타당성을 확인하였다(Lee and Kang, 2006; Moon *et al.*, 2008; Yu *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2022). 이와 같이 국내에서는 물수지 분석을 통한 물 수급 모델의 평가와 가뭄 단계에 따른 운영 방식을 분석하여 용수 공급의 효율성을 검토하는 연구가 진행되었다. 그러나 국내의 선행연구는 용수 공급의 효율성을 평가하기 위해 물수지 분석에만 초점이 맞춰져 있다는 한계점이 있다고 판단된다. 다른 한계점은 용수 공급의 효율성을 판단하는 과정에서 가뭄 피해의 정도가 아닌 가뭄 피해의 여부만을

활용했다는 점이라고 사료된다.

국내에서는 다양한 용수 공급 운영 방안 중 “댐 용수부족 대비 용수 공급 조정기준”이 대표적으로 채택되고 있다(K-water, 2009; Kim *et al.*, 2018b). 이 기준은 전국의 모든 댐 유역에 동일하게 적용되어, 일관된 대응 체계를 바탕으로 용수 공급이 이루어진다. 그러나, 일률적인 적용 방식은 각 지역의 고유한 특성과 상황을 충분히 반영되지 못한다는 문제점을 내포하고 있다. 특히, 모든 댐 유역에 동일한 대응 방안을 일괄된 방식으로 적용해야 한다는 한계점은 지역적 특성을 반영하지 않은 결과로, 가뭄 상황에서 효과적인 대응이 어렵다는 점이다. 이러한 문제의 근본적인 원인은 가뭄으로 인해 용수를 공급하는 과정에서 실제 피해 사례와 지역적 특성을 고려한 세밀한 연구가 부족했기 때문으로 판단된다. 더불어, 국내에서는 가뭄 피해에 대한 조사가 불규칙적이고 비정기적으로 이루어지면서, 용수 공급의 조정 기준에 실질적인 데이터를 반영하기 어렵다는 문제점을 더욱 악화시키고 있다고 사료된다.

국가가뭄정보통계집(National Drought Information Statistics, 2020-2023)은 비정기적인 조사 문제를 해결하기 위하여 관련 부처 간의 협력을 통해 연간 가뭄 현황 및 가뭄 피해에 대한 조사 항목을 통일하여 발간되었다. 해당 통계집은 데이터의 출처와 작성 근거가 명확히 규정된 공식 자료이며, 최근에 발간된 규정집임에도 불구하고 이를 활용한 연구가 활발하게 이루어지고 있다(Song *et al.*, 2021; Moon *et al.*, 2022). Song *et al.* (2021)은 생활가뭄으로 인한 피해규모를 추정하기 위해, 국가가뭄정보통계집에서 피해와 관련된 데이터를 기반으로 피해액과 복구액을 산정할 수 있는 공식을 개발하였다. 해당 연구에서는 생활가뭄으로 인해 발생한 피해를 정량화하여 지역별로 비교하였다. Moon *et al.* (2022)은 통계집에 수록된 피해 관련 자료를 바탕으로 군집분석을 수행하였다. 그 결과, 해당 연구에서는 국내 161개 지자체에서 발생한 가뭄 피해를 지역별로 비교·분석할 수 있는 높은 활용성을 제안하였다.

Moon *et al.* (2022)은 가뭄 모니터링의 한계를 극복하기 위해 가뭄 피해 자료를 지역별로 분류하고, 계층적 군집 분석을 통해 다양한 요인들을 설정하여 분석을 진행하였다. 가뭄 피해 자료는 가뭄 예·경보 횟수, 생활 및 공업, 농업용수에 대한 직접적 가뭄 피해정보, 그리고 가뭄 대응을 위해 지원한 용수 자료이며, 이를 군집화하여 결과를 도출하였다. 본 연구에서는 군집화한 결과가 지역별로 피해를 비교할 수 있다는 점에서 ‘상대적 가뭄 피해 등급’으로 정의하여 활용하였다. 이처럼 다양한 선행연구에서는 가뭄 피해와 용수 공급 계획의 효율성을 지역별로 구분하고 평가해 왔다. 가뭄을 분석하는 연구는 지역의 특성을 반영하여 용수 공급의 우선순위를 결정하는

주요한 역할로 전망된다. 특히, 지역별 용수의 수요량은 가뭄 발생 시 달라질 수 있으며, 용수의 수요에 따른 공급량의 변화는 공급 우선순위를 결정하는 데 중요한 역할을 할 것으로 판단된다(Frederick, 1997; Zhang et al., 2024).

그리하여, 본 연구에서는 용수 이용에 따른 가뭄 피해의 민감도를 평가하여, 가뭄 발생 시 용수 공급의 지역별 우선순위를 결정할 수 있는 새로운 평가 방법론을 제안하였다. 이를 위해, ‘용수 대비 피해 민감도(Damage Sensitivity to Water usage, DSW)’를 새롭게 정의하였다. DSW는 지역별로 농업/생활/공업용수 이용량이 각각 가뭄 피해에 미치는 영향을 정량화하며, 용수 공급이 우선적으로 필요한 지역을 선정하는 데 활용된다. 연구 대상지역은 2018년부터 2021년까지 금/영산/섬진강 유역 내 시·군·구 단위의 행정구역으로 선정하였다. 각 지역의 농업/생활/공업용수 이용량과 기상학적, 지역적 특성 인자는 지도학습 기반 회귀모형을 구축하기 위해 활용되었다. 이후, 회귀모형을 통해 각 지역의 용수 이용량이 50% 감소하거나 200% 증가하는 시나리오에서의 상대적 가뭄 피해 등급을 산출하였다. DSW는 이 등급의 차이를 기반으로 계산되며, 이를 통해 지역별로 순위를 매겼다. DSW가 높은 지역은 용수 관리에서 우선적으로 고려해야 할 지역임을 의미하며, 이를 바탕으로 지역별 용수 관리의 우선순위를 평가하였다.

2. 연구 대상지역 및 자료

연구 대상지역은 환경부의 소속기관 중 하나인 홍수통제소(KEI, 2024a; 2024b)를 참고하여, 금/영산/섬진강 유역 내 존재하는 시·군·구 단위의 행정구역 46개로 선정하였다(Table 1, Fig. 1). 행정구역 46개는 구분을 쉽게 하고자 1번부터 46번까지 번호를 부여하였다(Fig. 1(a)). 연구 대상지역은 한국지방행정연구원(Korea Research Institute for Local Administration, KRILA)에서 인구밀도, 인구의 편중도, 주요 산업 등과 같은 지표를 활용하여 도시형/농촌형/도농복합형으로 구분하였다(KRILA, 2010). 이렇게 구분된 행정구역은 DSW를 바탕으로 용수 이용에 민감한 지역으로 추후 선정된 결과와 비교 및 분석하였다.

본 연구에서 지역별로 DSW를 계산하기 위하여 활용된 자료들은 가뭄 피해와 관련성이 있는 기상학적, 지역적 특성 인자, 용수 이용량으로 분류하여 구축하였다(Table 2). 이와 같은 자료들은 연구의 분석과정에서 중요한 변수로 활용되었다. 첫 번째, 기상학적 인자는 연간 강우량(mm), 연간 평균 기온(°C), 연간 평균 풍속(m/sec), 그리고 30일 단위의 지속기간

별(30일, 60일, 90일, 180일, 270일 그리고 360일) 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)인 총 9개의 인자로 구성하였다. 이를 위해, 기상자료개방포털(KMA, 2024)에서 연구 대상지역 내 포함되는 종관기상관측장비(Automated Synoptic Observing System, ASOS) 및 자동기상관측장비(Automatic Weather Station, AWS)에서 관측되는 일 단위의 강우량, 기온, 풍속을 연간 평균값으로 계산하였다(Fig. 1(b)). 일반적으로 SPI와 같은 가뭄지수는 확률분포 모델을 활용하여 산출하였으며, 장기간의 강우 자료가 요구된다. 그리하여, 강우 자료는 기상관측소에서 관측된 2001년부터 2021년까지의 일 단위 강우량으로 활용하였다. SPI는 Kwon and Sung (2019)의 연구 방법론을 적용하여 30일 단위의 지속기간별로 계산하였다. SPI는 다른 기상학적 인자와 동일한 기간인 2018년부터 2021년까지만을 연간 평균값으로 변환하여 활용하였다.

두 번째, 지역적 특성 인자는 공인된 자료이자 출처가 명확한 국가통계포털(KOrean Statistical Information Service, KOSIS)을 통해 총 7개 인자로 구성하였다(KOSIS, 2024). 지역별 총인구수와 가구수는 주민등록상 등록 여부를 기준으로 하여 조사한 데이터를 의미한다. 농가는 지난 1년간 직접 생산한 농축산물 판매금액이 120만원 이상인 가구를 대상으로 조사하였고, 농가인구는 농가에 포함되어 있는 모든 구성원의 수를 뜻한다. 제조업 종사자수는 한국표준산업분류를 통해 제조업으로 분류된 총 인원수이며, 공장용지는 제조업을 목적으로 하는 부지를 의미한다(Statistics Korea, 2024). 마지막으로 상수도 보급률은 지방 및 광역 상수도를 기준으로, 해당 지역 총인구 대비 급수 인구 비율로 산출하여 활용하였다.

세 번째, 용수 이용 관련 데이터는 한강홍수통제소에서 관리하는 국가수자원관리종합정보시스템(Water resources Management Information System, WAMIS)에서 제공된 데이터를 활용하였으며, 각각 농업/생활/공업용수 이용량으로 구분하였다(HRFCO, 2024). 농업용수 이용량은 기준년 또는 이수안전도에 해당하는 기상 상황을 고정하여 농업용수로 필요한 만큼 추정된 단위용수량을 뜻한다. 본 연구에서 농업용수는 논·밭용수 및 축산용수를 합한 용수량으로 사용하였다. 생활용수는 가정에서 사용되는 가정용수와 상업 시설, 사무소 등의 비가정용수를 포함한 일상생활에 사용되는 용수를 뜻한다. 이는 급수방식에 따라 상수도 이용량, 미급수 지역 이용량, 기타 이용량으로 구분되는데, 본 연구에서는 이 모든 항목을 합한 용수량을 활용하였다. 공업용수 이용량은 제품 생산을 위한 용수와 종업원의 음용수를 포함하며, 계획입지공단과 자유입지업체에서 사용되는 모든 용수량으로 구성하였다.

Table 1. Descriptions of basic information about administration in Geum/Yeongsan/Sumjin River basin

Geum River Basin				Yeongsan River Basin				Sumjin River Basin			
No.	Provinces	Si-gun-gu	Types of Zone	No.	Provinces	Si-gun-gu	Types of Zone	No.	Provinces	Si-gun-gu	Types of Zone
1	Gwangju	Dong-gu	Urban Zone	20	Chung-cheong nam-do	Dongnam-gu, Cheonan-si	Urban-rural Mixed Zone	35	Jeollanam-do	Suncheon-si	Urban-rural
2		Seo-gu		21		Seobuk-gu, Cheonan-si		36		Naju-si	Mixed Zone
3		Nam-gu		22		Gongju-si		37		Damyang-gun	Rural Zone
4		Buk-gu		23		Nonsan-si		38		Gokseong-gun	
5		Gwangsan-gu		24		Gyeryong-si		39		Gurye-gun	
6	Daejeon	Dong-gu	Urban Zone	25	Jeollabuk-do	Geumsan-gun	Rural Zone	40		Boseong-gun	
7		Jung-gu		26		Buyeo-gun		41		Hwasun-gun	
8		Seo-gu		27		Cheongyang-gun		42		Yeongam-gun	
9		Yuseong-gu		28		Iksan-si	Urban-rural Mixed Zone	43		Muan-gun	
10		Daedeok-gu		29		Namwon-si		44		Hampyeong-gun	
11	Sejong	Sejong-si	Urban Zone	30	Jeollabuk-do	Jinan-gun	Rural Zone	45	Gyeongsangbuk-do	Jangseong-gun	
12	Chung-cheong buk-do	Sangdang-gu, Cheongju-si	Urban Zone	31		Muju-gun		46		Hadong-gun	Rural Zone
13		Seowon-gu, Cheongju-si		32		Jangsu-gun					
14		Heungdeok-gu, Cheongju-si		33		Imsil-gun					
15		Cheongwon-gu, Cheongju-si		34		Sunchang-gun					
16		Boeun-gun	Rural Zone								
17		Okcheon-gun									
18		Yeongdong-gun									
19		Jincheon-gun									

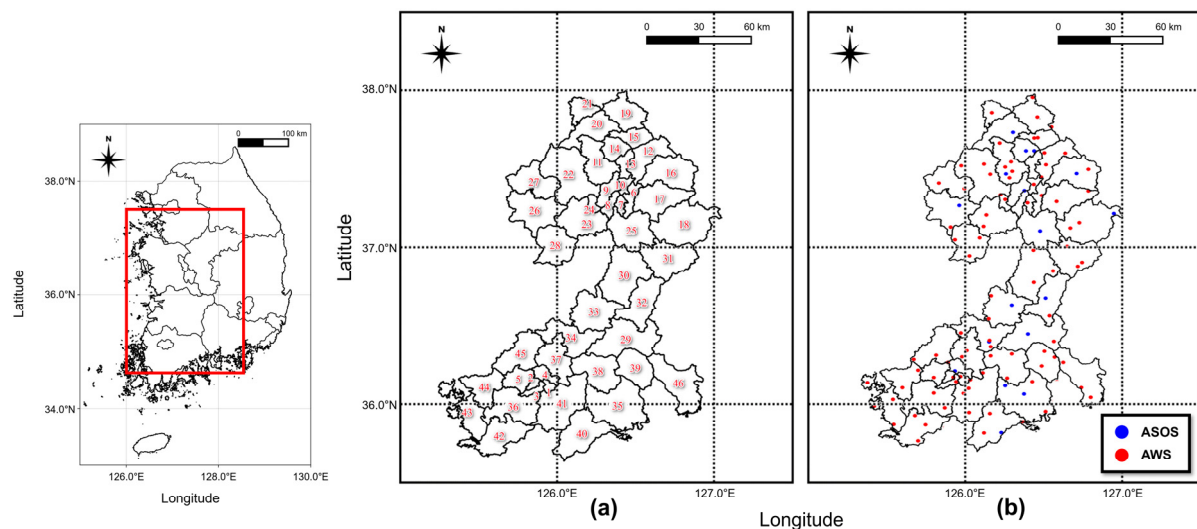
**Fig. 1.** Geographic information of (a) the number for administration and (b) the weather stations in Geum/Yeongsan/Sumjin River basin, Korea

Table 2. Detailed descriptions of parameters related to drought damage

Classification	Parameters (unit)	Sources
Meteorological Factor	Accumulated Precipitation (mm)	Korea Meteorological Administration (KMA)
	Average Temperature (°C)	
	Average Wind Speed (m/sec)	
	Average SPI30, 60, 90, 180, 270, 360	
Regional Factor	Total Population (Person)	Korean Statistical Information Service (KOSIS)
	Total Household (Number)	
	Total Agricultural Household (Number)	
	Total Area of Agricultural Land (m ²)	
	Total Number of Manufacturing Workers (Person)	
	Total Area of Industrial Land (m ²)	
Water Usage	Water Supply Rate (%)	Water resources Management Information System (WAMIS)
	Amount of Agricultural Water Usage (10 ³ m ³ /year)	
	Amount of Domestic Water Usage (10 ³ m ³ /year)	
	Amount of Industrial Water Usage (10 ³ m ³ /year)	

본 연구에서 가뭄의 피해 정보로 활용한 상대적 가뭄 피해 등급은 Moon *et al.* (2022)에서 제안되었으며 자료출처 및 작성 근거가 공인된 자료 내 가뭄 피해로 분류한 데이터를 바탕으로 지역별 가뭄 피해를 군집화한 결과이다. 먼저, 상대적 가뭄 피해 등급을 산출하기 위해서는 세부 인자를 설정하는데, 지역별로 용수의 사용 특성을 내포할 수 있는 인자들로 설정하였다. 그에 따라, 세부 인자는 국가가뭄정보포털에서 발행하는 국가가뭄정보통계집의 피해 자료 중 총 4가지를 채택하였으며, 국내에서 제공하고 있는 관계부처 합동 가뭄 예·정보 횡수, 전체 인구 대비 피해인구 비율, 전체 농지면적 대비 피해 면적 비율, 그리고, 가뭄 발생에 따른 용수 지원량으로 구성하였다. 다음으로 지역별로 세부 인자들은 가뭄 피해의 지역적 분류를 위해 군집 알고리즘인 계층적 군집 기법(Hierarchical Clustering)을 적용하였다(Murtagh and Contreras, 2012). 계층적 군집 기법은 트리모형을 이용하여 데이터 간의 계층적 유사성을 확인하여 유사한 개체 간의 군집을 형성하는 기법이다. 본 연구에서는 이런 과정을 통해 2018년부터 2021년까지 연도별 금/영산/섬진강 유역 내 존재하는 시·군·구 단위의 행정구역 46개 상대적 가뭄 피해 등급을 산출하여 활용하였다 (Fig. 4).

3. 연구 방법론

본 연구에서는 지역별로 DSW 를 계산할 수 있는 새로운 방법론을 제안하였다(Fig. 2). DSW 를 계산하는 기본 절차는 다음과 같다. 1) 연구 대상지역을 선택한 후, 가뭄 피해와 관련된 기상학적, 지역적 특성 및 용수 이용 관련 데이터와 상대적 가

뭄 피해 등급을 바탕으로 지도학습 기반의 회귀모형을 구축하였다. 그리고 회귀모형에 대한 최적의 매개변수를 설정하였다. 2) 구축된 회귀모형을 이용해 농업/생활/공업용수 이용량이 각각 50%로 감소하거나 200%로 증가한 상황에서 산출된 상대적 가뭄 피해 등급을 분석하였다. 산출된 상대적 가뭄 피해 등급은 각각 D_{50} , D_{200} 으로 정의하였다. 3) 마지막으로 DSW 는 용수 이용량 변화에 따라 산출된 상대적 가뭄 피해 등급인 D_{50} , D_{200} 을 활용하여 계산하였다. 계산된 DSW 는 지역, 연도, 그리고 용수의 종류에 따라 다른 결과가 나타났다. 이 결과를 바탕으로 용수 이용에 따라 다른 지역에 비해 민감한 지역을 선정하였다.

3.1 지도학습 기반 상대적 가뭄 피해 등급의 회귀모형 개발

기존의 머신러닝을 활용한 지도학습 기반 회귀모형은 결정 트리(Decision Tree)를 이용해 분할 지점을 탐색하며 최적의 해를 찾는 방식으로 구성된다. 기존 모형은 정확도가 높으나, 학습 시간이 오래 걸리고 메모리 사용에 제약이 있다는 한계가 있다(Oh *et al.*, 2021). XGBoost 알고리즘은 결정 트리 기반의 앙상블 학습 알고리즘으로, Approximation 알고리즘을 적용하여 높은 학습 속도와 우수한 예측 능력을 갖추고 있다(Vazirani, 2001). 본 연구에서는 기존의 머신러닝에 대한 한계점을 보완하고 우수한 성능을 가진 XGBoost 알고리즘을 활용하였다(Chen and Guestrin, 2016). 머신러닝 모델을 선택한 이후, 모델에 대한 최적의 매개변수를 설정하는 것은 매우 중요한 단계로 여겨진다(Sra *et al.*, 2012; Sun *et al.*, 2019).

본 연구에서는 최적의 매개변수를 찾기 위해 Open Source 인 Pycaret을 사용하였다. Pycaret은 초매개변수 탐색(Hyper-

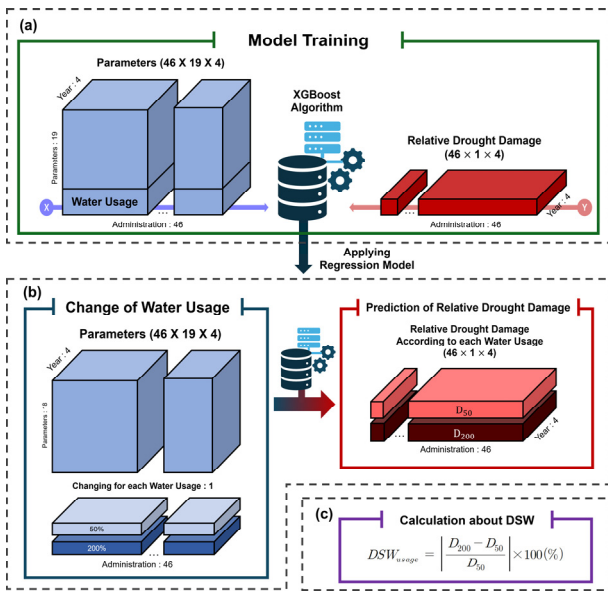


Fig. 2. A flowchart for calculating the Damage Sensitivity to Water Usage (DSW) with conceptual descriptions on each step: (a) Model training for predicting the relative drought damage, (b) Prediction of relative drought damage according to water usage and (c) Calculation about DSW according to types of water usage

parameter Tuning)을 자동화하여 최적의 매개변수를 설정하는데 도움을 준다. Pycaret의 첫 번째 과정은 매개변수를 최적화하기 위해 학습시킬 매개변수의 범위를 설정한다. 이러한 매개변수는 학습률, 트리의 최대 깊이, 트리의 개수 등이 존재한다. 다음, 주어진 매개변수의 범위에서 무작위로 매개변수 조합을 구성한다. 조합된 매개변수들은 추후 모델 학습을 진행하는데 활용된다. 마지막 순서는 K-Fold 교차 검증을 통해 각 매개변수 조합의 성능을 검증한다(Angueta *et al.*, 2012). K-Fold 교차 검증은 데이터를 K개의 동일하거나 거의 동일한 크기의 부분으로 나눈 다음, 이 중 하나는 검증 데이터로 사용하고, K-1개는 학습 데이터로 활용하여 성능을 평가하는 방법이다. 이후, 성능 평가 지표는 모델 학습을 반복하는 과정에서 산출되며, 모델에 대한 최적의 매개변수는 가장 좋은 성능지표를 보였던 매개변수로 결정된다.

본 연구에서 모델 학습을 위한 데이터 중 학습 자료와 테스트 자료는 80%:20%로 구성하였다. Pycaret을 구동하기 위해 설정한 변수는 무작위로 매개변수를 100개만큼 조합하도록 설정하였으며, K값은 10으로 결정하였다. Pycaret 과정에서 산출된 성능지표는 평균 절대 오차(Mean Absolute Error, MAE), 평균 제곱근 오차(Root Mean Squared Error, RMSE) 등이 존재한다. 본 연구에서는 평균 제곱근 오차를 줄이면서 모형 성능을 평가하였다(Nam *et al.*, 2020). 그 결과, 핵심 매개

변수는 최적화하여 학습률 0.5, 트리의 최대 깊이 8, 트리의 개수 270개로 설정하였다.

본 연구에서는 금/영산/섬진강 유역 내 시·군·구 단위의 행정구역에서 2018년부터 2021년까지 수집된 기상학적, 지역적 특성 인자와 용수 이용 관련 데이터를 기반으로, Moon *et al.* (2022)에서 산출한 상대적 가뭄 피해 등급과의 지도학습 기반 회귀모형을 구축하였다(Fig. 2(a)). 최적의 매개변수로 구축된 회귀모형의 독립변수는 2018년부터 2021년까지의 4년간, 연구 대상지역인 시·군·구 단위 46개 행정구역, 그리고 기상학적, 지역적 특성 인자와 용수 이용 관련 데이터를 포함한 19개의 인자로 구성되어 $46 \times 19 \times 4$ 의 구조를 가진다. 종속변수는 2018년부터 2021년까지 행정구역 46개의 상대적 가뭄 피해 등급으로, $46 \times 1 \times 4$ 의 구조로 구성된다. 구축된 모형은 특정 행정구역에서 연도별로 관측된 19개의 인자가 상대적 가뭄 피해 등급을 산출할 수 있도록 제작하였다. 이후, 회귀모형은 19개 인자 중 농업/생활/공업용수 이용량의 변화에 따른 각각의 상대적 가뭄 피해 등급을 산출하는 데 활용되었으며(Fig. 2(b)), 상대적 가뭄 피해 등급이 클수록 피해의 규모가 다른 지역에 비해 상대적으로 크다는 특징을 활용하여 지역별로 비교 및 평가하였다.

3.2 용수 대비 피해 민감도 산출 및 평가 방법론 개발

본 연구에서 정의한 DSW 는 각 농업/생활/공업용수 이용량의 변화에 따라 계산된 상대적 가뭄 피해 등급을 활용하여 계산하였다(Fig. 2(c)). DSW 는 용수 이용량이 감량된 조건에서 산출된 상대적 가뭄 피해 등급 대비 용수 이용량이 증가하거나 감소한 상황에서 계산된 상대적 가뭄 피해 등급의 차이를 계산한 결과로 정의하였다(Eq. (1)). 다만, 본 연구에서는 용수의 이용량이 50%로 감소한 상황과 200%까지 증가하는 상황을 극단적인 상황이라 가정하며, 이를 기반으로 상대적 가뭄 피해 등급을 산출하였다. 그에 따라, 각각의 농업/생활/공업용수 이용량이 50%와 200%로 변화했을 때, 나타나는 상대적 가뭄 피해 등급인 D_{50} , D_{200} 을 활용하였다. D_{50} 는 용수 이용량이 50%로 감소할 때, 계산되는 상대적 가뭄 피해 등급을 의미한다. D_{200} 은 용수 이용량의 크기가 200%인 상황에서 산출된 상대적 가뭄 피해 등급으로 정의하였다. 결과적으로 DSW 는 농업/생활/공업용수 이용량, 연도, 지역에 따라 계산하고, 이를 비교 및 분석하였다.

$$DSW_{usage} = \left| \frac{D_{200} - D_{50}}{D_{50}} \right| \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서, DSW_{usage} 는 특정 용수에 대한 DSW 를 의미하며, D_X 는 용수 이용량이 $X\%$ 일 때, 산출한 상대적 가뭄 피해 등급을 나타낸다. 최종적으로 본 연구에서는 DSW 를 활용하여 연구 대상지역을 지역별로 순위를 매김하였다. 예를 들어, 특정 용수의 DSW 가 다른 지역들에 비해 크게 산출된 지역은 용수 이용량의 변화에 따른 상대적 가뭄 피해 등급의 변화가 큰 지역이라는 것을 의미한다. 즉, 해당 지역은 용수 이용 변화가 다른 지역에 비해 가뭄 피해에 비교적 큰 영향을 미치는 지역이며, 용수 이용량의 변화가 없도록 용수 이용을 조절하거나 효율적인 방법이 요구되는 지역을 뜻하기도 한다. 이와 반대로 DSW 가 다른 지역에 비해 현저히 작거나 0인 지역은 용수 이용량이 변화하지만, 가뭄의 피해가 변화하지 않거나 거의 없는 지역이다. 이러한 지역은 용수 이용을 조절하는 지역에서 후순위인 지역으로 정의하였다.

4. 적용 결과 및 토의

4.1 금/영산/섬진강 유역 내 용수 이용량에 따른 상대적 가뭄 피해 등급 결과 분석

본 절에서는 연구 대상지역 내 농업용수를 비롯한 생활/공업용수 이용량이 50% 감소하거나 200% 증가한 상황에서의 연도별 상대적 가뭄 피해 등급인 D_{50} , D_{200} 을 도출하였다(Fig. 3). 먼저, 농업용수 이용량에 따른 상대적 가뭄 피해 등급의 결과를 살펴보았다(Fig. 3(a), Table 6). 지역번호 18번(충청북도 영동군)은 2019년 기준 D_{50} 은 1.00으로 산출되는 반면, D_{200} 은 1.37로 상대적 가뭄 피해 등급이 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 3(a)). 지역번호 24번(충청남도 계룡시)은 농업용수 이용량의 변화와 관계없이, 2020년부터 2021년까지 D_{50} 과 D_{200} 이 각각 3.68과 3.37로 계산되었다. 지역번호 31번(전라북도 무주군)은 2022년에 D_{50} 의 값이 2.55로 산출되는 반면, D_{200} 의 값은 1.03으로 산출되며, 농업용수의 증가에 따라 상대적 가뭄 피해 등급이 감소하는 양상을 드러내었다. 이를 통해, 지역번호 24번(충청남도 계룡시)은 다른 지역에 비해 상대적으로 높은 상대적 가뭄 피해 등급을 나타내는 지역임을 확인하였다. 이외에도 지역번호 26번(충청남도 부여군), 27번(충청남도 청양군), 38번(전라남도 곡성군), 41번(전라남도 화순군)은 모두 상대적 가뭄 피해 등급이 1.10 이상으로 산출되었다.

다음은 생활용수 이용량의 변화에 따른 상대적 가뭄 피해 등급을 분석하였다(Fig. 3(b), Table 6). 생활용수 이용량에 따른 D_{50} 은 모든 지역에서 연도와 상관없이 2.00 이하로 산출되

었다. D_{50} 이 가장 큰 지역은 지역번호 27번(충청남도 청양군)으로 2019년의 상황에서 1.97로 계산되었다. 지역번호 24번(충청남도 계룡시), 26번(충청남도 부여군), 41번(전라남도 화순군)은 특정 시기에 D_{50} 이 1.50 이상으로 나타났으며, 생활용수 이용량이 50%로 감소한 상황에서 다른 지역들에 비해 상대적 가뭄 피해 등급이 크게 상승하는 경향을 드러내었다. 지역번호 24번(충청남도 계룡시)은 2018년과 2019년에서 D_{50} 과는 다르게 D_{200} 이 3.00 이상으로 산출되어 상대적 가뭄 피해가 크게 나타났다. 지역번호 18번(충청북도 영동군)과 45번(전라남도 장성군)은 특정 시기에서 D_{200} 의 값이 1.10으로 산출되며, D_{50} 보다는 약간 증가하였다. 반면, 지역번호 26

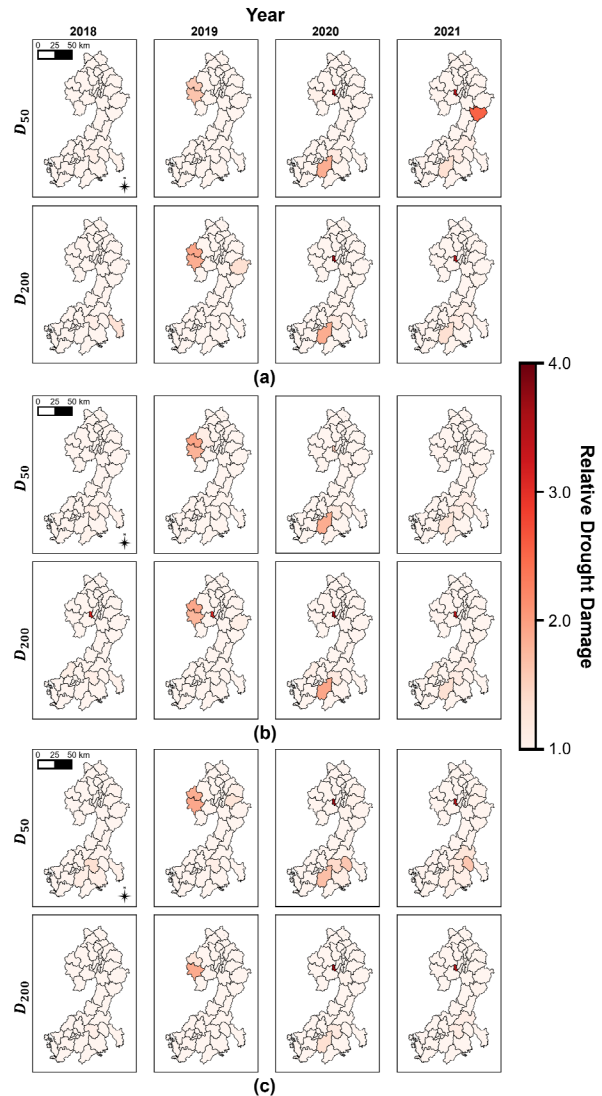


Fig. 3. Illustrations of relative drought damage with changes in water usage from 2018 to 2021; (a) Agricultural usage, (b) Domestic usage, and (c) Industrial usage

번(충청남도 부여군)과 27번(충청남도 청양군)은 생활용수 이용량에 대해 D_{50} 이 D_{200} 보다 낮게 산출되어 지역별로 상이한 경향을 확인하였다.

마지막으로 농업용수 이용량의 변화에 따른 연구 대상지역의 상대적 가뭄 피해 등급 결과를 분석하였다(Fig. 3(c), Table 6). 지역번호 16번(충청북도 보은군), 17번(충청북도 옥천군), 35번(전라남도 순천시)은 농업용수 관련한 D_{200} 은 모든 시기에서 1.00이었지만, 특정 시기에서 D_{200} 보다 D_{50} 이 크게 산출되는 경향을 보여주었다. 지역번호 26번(충청남도 부여군), 29번(전라북도 남원시), 38번(전라남도 곡성군), 39번(전라남도 구례군), 46번(경상북도 하동군)에서는 D_{200} 이 1.00 보다는 크게 산출되었지만, 앞선 지역들과 동일하게 D_{50} 이 크게 산출되는 특징을 나타내었다. 특히, 해당 지역들은 농업용수 이용량이 적을 때 상대적 피해가 크게 나타남을 시사하였다. 지역번호 24번(충청남도 계룡시)의 경우, 농업용수 이용량에 따라 상대적 가뭄 피해 등급이 일관성을 유지하였다. 그러나, 다른 지역과 비교해보면, D_{50} , D_{200} 은 2020년과 2021년에서 모두 3.00 이상으로 산출되었으며, 농업, 생활용수와 마찬가지로 농업용수에서도 상대적으로 가뭄 피해가 발생할 수 있다는 것을 확인하였다.

본 절에서는 지도학습 기반 회귀모형을 활용하여 농업/생활/공업용수 이용량에 따라 산출되는 상대적 가뭄 피해 등급을 분석하였다. 전반적인 결과를 종합해 보면, 대부분 지역에서는 용수 이용량 변화에 상관없이 상대적 가뭄 피해 등급이 1.00으로 산출되었으나, 특정 지역과 시기에서 상대적으로 높은 피해 등급이 계산되었다. 특히, 지역번호 24번(충청남도 계룡시)의 경우에는 2020년과 2021년에는 용수의 종류에 상관없이 상대적 가뭄 피해 등급이 3.00 이상으로 산출되었다. 2018년과 2019년에는 생활용수 이용량이 증가한 조건에서 상대적 가뭄 피해 등급이 3.00 이상으로 계산되었다. 이러한 점을 미루어보아, 지역번호 24번(충청남도 계룡시)은 가뭄에 대응하기 위해 당시의 상황과 여건을 면밀히 파악할 필요가 있다고 판단된다. 지역번호 26번(충청남도 부여군), 지역번호 27번(충청남도 청양군), 지역번호 31번(전라북도 무주군)은 특정 시기와 용수 이용량의 변화에 따라 상대적 가뭄 피해 등급이 2.00과 비슷하거나 크게 산출되는 결과를 나타내며, 해당 지역들도 용수 이용량의 변화에 대한 지속적인 관리가 필요할 것으로 사료된다.

4.2 금/영산/섬진강 유역 내 용수 대비 피해 민감도 및 지역별 순위 결과 분석

본 절에서는 회귀모형을 기반으로 산출된 D_{50} 과 D_{200} 을 활

용하여, 연구 대상지역 내 DSW 가 높은 지역의 순위를 연도와 용수의 종류에 따라 매겼다. 먼저, 농업용수의 DSW ($DSW_{Agr.}$)를 기준으로 지역별 순위를 분석한 결과를 살펴보았다(Table 3). 대부분 지역에서는 연도에 상관없이 $DSW_{Agr.}$ 가 0으로 계산되었으며, 이 지역을 제외하여 결과를 분석하였다. 2018년 $DSW_{Agr.}$ 는 지역번호 46번(경상북도 하동군)에서 26.62로 산출되며, 농업용수 이용량에 대해 민감한 지역으로 확인되었다. 반면, 2018년 다른 지역들은 모두 $DSW_{Agr.}$ 가 2.00 이하로 계산되었다. 2019년에는 지역번호 18번(충청북도 영동군), 27번(충청남도 청양군), 26번(충청남도 부여군)은 $DSW_{Agr.}$ 가 각각 36.94, 20.99, 12.84으로 2018년에 비해 2019년의 상황에서 상대적으로 높은 $DSW_{Agr.}$ 가 산출되었다.

2020년에는 다른 시기에 비해 $DSW_{Agr.}$ 가 0으로 산출되는 지역이 상대적으로 적었다. 다만, $DSW_{Agr.}$ 가 가장 큰 지역인 지역번호 26번(충청남도 부여군)은 7.49로 산출되어, 전반적으로 2020년에는 $DSW_{Agr.}$ 가 다른 시기에 비해 작게 계산되었다(Table 3). 2021년에는 지역번호 31번(전라북도 무주군)의 $DSW_{Agr.}$ 가 59.64로, 모든 지역과 시기 중 가장 크게 산출되었다. 종합적으로, 2018년에는 지역번호 46번(경상북도 하동군), 2019년에는 지역번호 18번(충청북도 영동군), 27번(충청남도 청양군), 26번(충청남도 부여군), 그리고 2021년에는 지역번호 31번(전라북도 무주군)이 다른 지역들에 비해 농업용수 이용량의 변화에 따라 가뭄 피해가 민감하게 반응하는 지역이라는 것을 확인하였다. 이에 따라, 해당 지역들은 농업용수의 공급에서 우선적으로 고려되어야 하는 지역으로 선정할 필요가 있다.

다음, 생활용수의 DSW ($DSW_{Dom.}$)에 대한 지역별 순위 결과를 분석하였다(Table 4). 분석 결과, 지역번호 24번(충청남도 계룡시)은 2018년부터 2021년까지 연도와 상관없이 $DSW_{Dom.}$ 가 가장 크게 산출되었다. 지역번호 45번(전라남도 장성군)은 2019년을 제외하고 두 번째로 높은 $DSW_{Dom.}$ 을 기록하였다. 2019년의 결과를 확인해 보면, 지역번호 22번(충청남도 공주시)은 $DSW_{Dom.}$ 가 두 번째로 큰 지역임을 확인하였다. 지역번호 22번(충청남도 공주시)은 다른 연도에서는 $DSW_{Dom.}$ 가 0이었지만, 2019년에는 유일하게 10.00을 넘는 값으로 산출되었다. 2019년에는 지역번호 18번(충청북도 영동군)이 10.14로 $DSW_{Dom.}$ 가 10.00을 넘는 지역으로 나타났다. 다만, 연도별 $DSW_{Dom.}$ 가 두 번째로 큰 지역은 지역번호 24번(충청남도 계룡시)과 비교해 보면 수치적으로 대략 13배부터 20배까지 현저하게 차이가 나는 것으로 확인되었다. 이는 지역번호 24번(충청남도 계룡시)이 생활용수의 변화에 다른 지역보다 굉장히 민감하게 반응하는 지역임을 알 수 있었다.

2018년, 2020년과 2021년에는 지역번호 39번(전라남도

Table 3. Results of regional rankings for damage sensitivity to agricultural water usage from 2018 to 2021

Rank	Years							
	2018		2019		2020		2021	
	Number of Administration	$DSW_{Agr.}$	Number of Administration	$DSW_{Agr.}$	Number of Administration	$DSW_{Agr.}$	Number of Administration	$DSW_{Agr.}$
1	46	26.62	18	36.94	26	7.49	31	59.64
2	43	1.08	27	20.99	41	0.57	26	2.25
3	45	0.72	26	12.84	43	0.42	43	1.88
4	18	0.08	25	0.42	18	0.08	29	1.32
5	17	0.08	32	0.05	32	0.05	40	0.95
6	32	0.05	46	0.05	33	0.05	44	0.43
7	33	0.05	33	0.05	34	0.05	33	0.05
8	34	0.05	34	0.05	46	0.05	34	0.05
9	30	0.05	17	0.05	37	0.05	37	0.05
10	25	0.03	16	0.05	45	0.05	45	0.05
11	42	0.03	42	0.03	17	0.05	46	0.05
12	Regions with a Sensitivity value of 0 will be excluded from the discussion.		Regions with a Sensitivity value of 0 will be excluded from the discussion.		39	0.05	38	0.04
13					38	0.04	41	0.03
14					42	0.03	Regions with a Sensitivity value of 0 will be excluded from the discussion.	
15					27	0.01		
16					Regions with a Sensitivity value of 0 will be excluded from the discussion.			
17								

구례군)과 40번(전라남도 보성군)이 $DSW_{Dom.}$ 의 상위 5위 지역에 속하며, 대부분 4.00 이상으로 산출되었다(Table 4). 지역번호 41번(전라남도 화순군)은 2020년, 2021년에 상위 5위 지역으로 선정되었으며, $DSW_{Dom.}$ 가 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. 2019년에는 지역번호 26번(충청남도 부여군), 27번(충청남도 청양군), 2020년에는 지역번호 25번(충청남도 금산군), 지역번호 26번(충청남도 부여군), 그리고 2021년에는 지역번호 31번(전라북도 무주군)은 $DSW_{Dom.}$ 가 2.00 이상으로 산출되었다. 종합적으로 보면, $DSW_{Dom.}$ 가 0 이상으로 산출되는 지역은 $DSW_{Agr.}$ 에 비해 적었다. 지역번호 24번(충청남도 계룡시)을 제외한 다른 지역에서는 $DSW_{Dom.}$ 가 비교적 작게 계산되었다. $DSW_{Dom.}$ 의 결과를 종합하면, 지역번호 24번(충청남도 계룡시)은 $DSW_{Dom.}$ 가 100 이상으로 산출되어, 생활용수 수요에 맞춘 용수 이용량의 지속적인 관리가 필요한 지역으로 판단된다. 지역번호 45번(전라남도 장성군)도 2019년을 제외하고 생활용수 이용량에 민감하게 반응하였으며, 생활용수 이용량의 변화에 대한 전략적 대응이 필요함

을 시사하고 있다.

다음, 농업용수의 DSW ($DSW_{Ind.}$)를 기준으로 지역별 순위를 분석하였다(Table 5). 2018년의 사례를 살펴보면, 가장 큰 $DSW_{Ind.}$ 가 산출된 지역은 지역번호 38번(전라남도 곡성군)으로 확인되었다. 그 다음으로 지역번호 41번(전라남도 화순군), 35번(전라남도 순천시), 46번(경상북도 하동군), 17번(충청북도 옥천군)이 높은 $DSW_{Ind.}$ 가 산출되었다. 2018년에는 상위 5개 지역 중 전라남도 지역이 3곳을 차지한 것이 특징이었다. 2019년에는 2018년에 비해 전반적으로 $DSW_{Ind.}$ 가 증가한 결과를 나타내었다. 특히, 지역번호 27번(충청남도 청양군)은 2018년의 $DSW_{Ind.}$ 가 0.06에서 2019년에는 33.67로 크게 상승하였다. 이어서, 지역번호 17번(충청북도 옥천군), 38번(전라남도 곡성군), 16번(충청북도 보은군), 41번(전라남도 화순군)은 2019년에서 $DSW_{Ind.}$ 가 크게 산출되는 지역임을 확인하였다.

지역번호 39번(전라남도 구례군)은 2020년과 2021년에 $DSW_{Ind.}$ 가 각각 38.44과 38.14로 모든 연도 중 가장 크게 산출

Table 4. Results of regional rankings for damage sensitivity to domestic water usage from 2018 to 2021

Rank	Years							
	2018		2019		2020		2021	
	Number of Administration	$DSW_{Dom.}$	Number of Administration	$DSW_{Dom.}$	Number of Administration	$DSW_{Dom.}$	Number of Administration	$DSW_{Dom.}$
1	24	211.79	24	207.52	24	135.21	24	166.53
2	45	10.11	22	12.47	45	10.11	45	10.11
3	39	4.18	18	10.14	40	4.17	41	7.63
4	40	4.14	26	2.26	39	4.17	39	4.11
5	27	0.21	27	2.12	41	3.45	40	4.01
6	16	< 0.01	40	0.03	26	2.07	31	3.74
7	18	< 0.01	30	< 0.01	25	2.04	29	0.34
8	26	< 0.01	33	< 0.01	11	0.08	16	0.18
9	25	< 0.01	16	< 0.01	46	< 0.01	25	< 0.01
10	17	< 0.01	25	< 0.01	Regions with a Sensitivity value of 0 will be excluded from the discussion.		26	< 0.01
11	Regions with a Sensitivity value of 0 will be excluded from the discussion.		17	< 0.01			Regions with a Sensitivity value of 0 will be excluded from the discussion.	
12								
13								

되었다. 2020년에는 지역번호 39번(전라남도 구례군)을 비롯해 41번(전라남도 화순군), 38번(전라남도 곡성군), 35번(전라남도 순천시), 17번(충청북도 옥천군) 순으로 순위가 매겨졌으며, 전라남도를 중심으로 $DSW_{Ind.}$ 가 높게 계산되는 경향이 나타났다. 2021년에는 지역번호 29번(전라북도 남원시), 35번(전라남도 순천시), 41번(전라남도 화순군), 17번(충청북도 옥천군)이 상위 5개 지역으로 순위에 올랐으며, 전라도를 중심으로 $DSW_{Ind.}$ 가 크게 산출되는 결과를 확인하였다. $DSW_{Ind.}$ 가 1.00 이상으로 산출된 지역은 다른 시기와는 다르게 전반적으로 많게 나타났다.

전반적으로 결과를 살펴보면, 2018년에는 $DSW_{Ind.}$ 가 다른 연도와는 다르게 상대적으로 작게 산출되었다. 2019년에는 지역번호 27번(충청남도 청양군)을 중심으로 $DSW_{Ind.}$ 가 증가하는 경향을 보여주었다. 2020년과 2021년에는 지역번호 39번(전라남도 구례군)이 가장 큰 $DSW_{Ind.}$ 가 계산되었으며, 해당 지역은 공업용수의 지속적인 관리가 필요한 지역임을 알 수 있었다. $DSW_{Ind.}$ 는 $DSW_{Agr.}$, $DSW_{Dom.}$ 와는 다르게 연도와 상관없이 동일한 지역에서만 0 이상으로 산출되었다. 이를 통해 공업용수 이용량의 변화가 가뭄 피해에 영향을 미치는 지역은 제한적이라는 점을 확인할 수 있었다. 특히, $DSW_{Ind.}$ 가 큰 상위 5개 지역의 일부는 전라남도에 집중되어 있어, 전라남도를 중심으로 공업용수의 이용량에 대한 지속적인 관리 전략

이 필요하다고 판단된다.

마지막으로 본 연구에서는 각 용수의 DSW 를 기반으로 민감하게 반응한 지역과 KRILA (2010)에서 구분한 도시형/농촌형/도농복합형을 비교하여 분석하였다. 먼저, $DSW_{Agr.}$ 가 크게 계산된 지역은 대표적으로 지역번호 18번(충청북도 영동군), 26번(충청남도 부여군), 27번(충청남도 청양군) 등으로, 대부분 농촌형 지역으로 확인되었다. 다음, $DSW_{Dom.}$ 을 기준으로 살펴보면, 대부분 도농복합형인 지역번호 22번(충청남도 공주시), 24번(충청남도 계룡시), 45번(전라남도 장성군) 등이 포함되었다. $DSW_{Ind.}$ 가 크게 계산된 지역은 전라도 일대를 중심으로 지역번호 29번(전라북도 남원시), 35번(전라남도 순천시), 38번(전라남도 곡성군) 등으로 생활용수에 민감한 지역과 유사하게 대부분 도농복합형으로 분류되었다. 반면, 도시형으로 구분된 지역에서는 $DSW_{Agr.}$, $DSW_{Dom.}$, 그리고 $DSW_{Ind.}$ 가 상대적으로 작게 산출되는 경향을 보여주었다.

5. 결 론

본 연구에서는 DSW 를 새롭게 정의하고, 이를 바탕으로 가뭄 발생 시 지역별 용수 공급 우선순위를 결정할 수 있는 새로운 평가 방법론을 제안하였다. 연구 대상지역은 2018년부터

Table 5. Results of regional rankings for damage sensitivity to industrial water usage from 2018 to 2021

Rank	Years							
	2018		2019		2020		2021	
	Number of Administration	$DSW_{Ind.}$	Number of Administration	$DSW_{Ind.}$	Number of Administration	$DSW_{Ind.}$	Number of Administration	$DSW_{Ind.}$
1	38	18.29	27	33.67	39	38.44	39	38.13
2	41	11.51	17	22.05	41	19.67	29	11.76
3	35	9.78	38	11.54	38	16.43	35	10.30
4	46	4.99	16	7.79	35	11.57	41	9.18
5	17	2.19	41	2.19	17	6.15	17	6.16
6	29	2.01	18	2.12	16	4.09	38	4.64
7	16	1.93	26	1.13	26	2.13	16	4.29
8	44	1.18	33	0.38	18	2.10	40	3.34
9	33	0.32	40	0.06	44	0.06	45	1.77
10	18	0.06	30	0.06	29	0.06	18	0.06
11	30	0.06	29	0.06	30	0.06	32	0.06
12	32	0.06	35	0.06	32	0.06	27	0.06
13	27	0.06	34	0.06	34	0.06	34	0.06
14	34	0.06	44	0.06	27	0.02	30	0.02
15	40	< 0.01	32	0.06	40	< 0.01	44	0.02
16	39	< 0.01	39	< 0.01	33	< 0.01	33	< 0.01
17	26	< 0.01	45	< 0.01	46	< 0.01	46	< 0.01
18	45	< 0.01	46	< 0.01	45	< 0.01	26	< 0.01
19	Regions with a Sensitivity value of 0 will be excluded from the discussion.		Regions with a Sensitivity value of 0 will be excluded from the discussion.		Regions with a Sensitivity value of 0 will be excluded from the discussion.		Regions with a Sensitivity value of 0 will be excluded from the discussion.	
20								
21								

2021년까지 금/영산/섬진강 유역 내 시·군·구 단위의 행정구역인 46개 지역으로 선정하였다. 상대적 가뭄 피해 등급을 산출하기 위해 기상학적, 지역적 특성과 용수 이용량 관련 데이터를 활용한 지도학습 기반의 회귀모형을 구축하였으며, 용수 이용량이 50%만큼 감소하거나 200%만큼 증가한 상황에서 상대적 가뭄 피해 등급인 D_{50} , D_{200} 을 산출하였다. DSW 는 D_{50} , D_{200} 을 활용하여 계산하였으며, 2018년부터 2021년까지 각 행정구역별로 산출된 $DSW_{Agr.}$, $DSW_{Dom.}$, $DSW_{Ind.}$ 을 순위로 매겨 분석하였다.

연구 결과, $DSW_{Agr.}$, $DSW_{Dom.}$, $DSW_{Ind.}$ 은 지역별로 다르게 나타났으며, 이를 통해 용수 이용량의 변화에 따라 가뭄 피해가 민감하게 반응하는 지역을 확인할 수 있었다. $DSW_{Agr.}$ 가 크게 산출된 지역은 지역번호 18번(충청북도 영동군), 26번(충청남도 부여군), 27번(충청남도 청양군)과 같은 농촌형 지역으로, 농업용수 관리가 중요한 지역으로 분류되었다. $DSW_{Dom.}$,

$DSW_{Ind.}$ 가 크게 산출된 지역은 도농복합형 지역으로, 특히, 지역번호 24번(충청남도 계룡시)은 $DSW_{Dom.}$ 가 다른 지역에 비해 굉장히 수치가 크다는 점에서 생활용수의 이용량을 통제할 가능성을 내포하고 있었다. 공업용수는 지역번호 35번(전라남도 순천시)를 포함한 38번(전라남도 곡성군), 39번(전라남도 구례군), 41번(전라남도 화순군) 등을 중심으로 관리가 필요할 것으로 판단된다. 반면, 도시형 지역에서는 전반적으로 DSW 가 작게 산출되어, 다른 지역들에 비해 비교적 용수 공급이 후순위로 나타났다.

본 연구에서 정의한 DSW 는 지역별로 민감하게 반응하는 용수 이용량의 종류를 파악하고, 용수 공급 우선순위를 판단할 수 있는 유용한 평가방법론으로 활용될 수 있다. 특히, 용수 이용량 변화가 가뭄 피해에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 수 있다는 점에서 다양한 활용성을 보여줄 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서 DSW 는 용수 이용량을 절반 혹은 갑절만

을 변화시켜 산출하였으나, 용수 이용량을 일정 범위 내 다양하게 변화시켜 상대적 가뭄 피해 등급이 민감하게 반응하는 용수 조정량을 지역별로 확인할 수 있을 것으로 사료된다. 이를 통해, 가뭄을 대응하기 위한 조정 기준은 기존의 지역의 특성에 차별점을 두지 않고, 단순히 일관된 조정 기준에서 벗어나 지역별, 용수의 종류에 따라 다르게 설정할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 해당 방법론을 통해 용수 이용량의 변화가 아닌 강수량, 인구밀도 등의 변화 대비 피해 민감도를 계산한다면, 향후 가뭄 대응을 위한 계획을 수립하는 데 기여할 것으로 광범위한 활용성이 기대된다.

다만, 본 연구는 연구 기간이 4개년이라는 점과 특정 지역의 DSW를 분석한 점은 한계점이라고 판단된다. 먼저, 데이터의 표본 크기는 4개년이라는 점에서 본 연구의 결과가 지역적 특성을 반영하여 도출되었다고 언급하기에는 비교적 한계가 있다. 이는 활용된 국가가뭄정보통계집이 2020년을 기준으로 처음 발행되었기에 발생한 한계점이라고 판단된다. 다만, 국가가뭄정보통계집은 다른 보고서와 통계집에 비해 높은 신뢰성을 보이며, 매년 정기적으로 발행되고 있기에 표본의 크기를 증가시킬 수 있을 것이다. 또한, 이를 해결하기 위해 추후 연구에서는 현재 금/영산/섬진강 유역의 비교적 작은 연구 대상지역을 전국 단위로 확장하여 표본의 크기를 보완하고자 한다. 또한, 댐 용수 공급 조정기준은 하천유지용수에 대한 감량조치를 제한하지만, 본 연구의 방법론은 하천유지용수를 고려하지 못했다는 점이 한계점이다. 추후 연구에서는 하천유지용수를 고려하여 DSW를 계산할 수 있는 방법론으로 보완하고자 한다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 가뭄대응 물관리 혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2022-KE002032).

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Alves, G.J., Mello, C.R., and Guo, L. (2023). "Rainfall disasters under the changing climate: A case study for the Rio de Janeiro mountainous region." *Natural Hazards*, Vol. 116, No. 2, pp. 1539-1556.
- Anguita, D., Ghelardoni, L., Ghio, A., Oneto, L., and Ridella, S. (2012). "The K' in K-fold cross validation." *In ESANN*, Vol. 102, pp. 441-446.
- Araral, E., and Wang, Y. (2013). "Water demand management: Review of literature and comparison in South-East Asia." *International Journal of Water Resources Development*, Vol. 29, No. 3, pp. 434-450.
- Chen, T., and Guestrin, C. (2016). "Xgboost: A scalable tree boosting system." *In Proceedings of the 22nd Acm Sigkdd International Conference on Knowledge Discovery and data mining*, San Francisco, CA, U.S., pp. 785-794.
- Choi, D., Yang, J.S., Chung, G., and Kim, S. (2011). "A conceptual soil water model of catchment water balance: Which hydrologic components are needed to calibrate the model?." *KSCCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, Vol. 31, No. 3B, pp. 211-220.
- Choi, S., Kang, S., Lee, D., and Kim, J. (2018). "A study on water supply and demand prospects for water resources planning." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 18, No. 7, pp. 589-596.
- Frederick, K.D. (1997). "Adapting to climate impacts on the supply and demand for water." *Climatic Change*, Vol. 37, No. 1, pp. 141-156.
- Han River Flood Control Office (HRFCO) (2024). Republic of Korea, accessed May, 1 2024, <<http://www.wamis.go.kr/>>.
- Hwang, J.S., Jeong, D.I., Lee, J.K., and Kim, Y.O. (2007). "Application of monthly water balance models for the climate change impact assessment." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 40, No. 2, pp. 147-158.
- Jun, C., Qin, X., Gan, T.Y., Tung, Y.K., and De Michele, C. (2017). "Bivariate frequency analysis of rainfall intensity and duration for urban stormwater infrastructure design." *Journal of Hydrology*, Vol. 553, pp. 374-383.
- Kim, C.G., Cho, J., and Kim, N.W. (2018a). "Assessing hydrologic impact of climate change in Jeju Island using multiple GCMs and watershed modeling." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 51, No. 1, pp. 11-18.
- Kim, J., Park, J., and Kwon, H. (2022). "Assessment of termination criteria at each drought response stage on climate change in a multi-purpose dam." *Applied Sciences*, Vol. 12, No. 12, 5801.
- Kim, J.M., Park, J.H., Jang, S.H., and Kang, H.W. (2018b). "Development and effective analysis of termination criteria at each drought response stage in a multipurpose dam." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 18, No. 5, pp. 23-31.
- Korea Environment Institute (KEI) (2024a). Republic of Korea, accessed 1 May 2024, <<https://www.yeongsanriver.go.kr/>>.
- Korea Environment Institute (KEI) (2024b). Republic of Korea, accessed 1 May 2024, <<https://www.geumriver.go.kr/>>.
- Korea Meteorological Administration (KMA) (2024). Republic of Korea, accessed 1 May 2024, <<http://data.kma.go.kr/>>.

- Korea Research Institute for Local Administration (KRILA) (2010). *A study on the improvement the public service delivery system in Korean local government*.
- Korean Statistical Information Service (KOSIS) (2024). Republic of Korea, accessed 1 May 2024, <<https://kosis.kr>>.
- K-water (2009). *Dam operation manual*.
- Kwon, M., and Sung, J.H. (2019). "Changes in future drought with HadGEM2-AO projections." *Water*, Vol. 11, No. 2, 312.
- Lee, S.H., and Kang, T.U. (2006). "An evaluation method of water supply reliability for a dam by firm yield analysis." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 39, No. 5, pp. 467-478.
- Marengo, J.A., Alves, L.M., Ambrizzi, T., Young, A., Barreto, N.J., and Ramos, A.M. (2020). "Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: A review." *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 1472, No. 1, pp. 5-20.
- Misra, S. (2008). *Review of effectiveness of rural water supply schemes in India*. World Bank, Washington DC, U.S., pp. 7-171.
- Moon, G., Jung, Y., Jun, C., Joo, J., and Yoo, D. (2022). "Cluster analysis of drought damage to local governments across the country using the national drought information statistics." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 22, No. 6, pp. 293-300.
- Moon, J.W., Lee, D.R., Choi, S.J., and Kang, S.K. (2008). "An assessment on the water supply stability of multi-purpose dam using water supply capacity index." *In Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, KWRA, pp. 314-318.
- Murtagh, F., and Contreras, P. (2012). "Algorithms for hierarchical clustering: An overview." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, Vol. 2, No. 1, pp. 86-97.
- Nam, K., Kim, M.I., Wang, F., and Jeong, G.C. (2020). "Prediction of landslides and determination of its variable importance using AutoML." *The Journal of Engineering Geology*, Vol. 30, No. 3, pp. 315-325.
- National Drought Information Statistics (2020). *2018 national drought information statistics*. No. 11-1741000-000244-10, Joint Ministries, pp. 1-365.
- National Drought Information Statistics (2021). *2019 national drought information statistics*. No. 11-1741000-000244-10, Joint Ministries, pp. 1-358.
- National Drought Information Statistics (2022). *2020 national drought information statistics*. No. 11-1741000-000244-10, Joint Ministries, pp. 1-328.
- National Drought Information Statistics (2023). *2021 national drought information statistics*. No. 11-1741000-000244-10, Joint Ministries, pp. 1-348.
- Oh, M.J., Choi, E.S., Roh, K.W., Kim, J.S., and Cho, W.S. (2021). "A study on the design of supervised and unsupervised learning models for fault and anomaly detection in manufacturing facilities." *The Journal of Bigdata*, Vol. 6, No. 1, pp. 23-35.
- Peng, J., Liu, T., Chen, J., Li, Z., Ling, Y., De Wulf, A., and De Maeyer, P. (2023). "The conflicts of agricultural water supply and demand under climate change in a typical arid land watershed of Central Asia." *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Vol. 47, 101384.
- Qian, L., Wang, H., and Zhang, K. (2014). "Evaluation criteria and model for risk between water supply and water demand and its application in Beijing." *Water Resources Management*, Vol. 28, pp. 4433-4447.
- Rim, C.S., Lim, G.H., and Yoon, S.E. (2011). "A study on the hydro-climatic effects on the estimation of annual actual evapotranspiration using watershed water balance." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 12, pp. 915-928.
- Shiklomanov, I.A. (2000). "Appraisal and assessment of world water resources." *Water International*, Vol. 25, No. 1, pp. 11-32.
- Song, Y., Lee, H., Song, Y., and Park, M. (2021). "Development and application of estimation method for the scale of damage in domestic drought." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 21, No. 6, pp. 275-284.
- Sra, S., Nowozin, S., and Wright, S.J. (2012). *Optimization for machine learning*. The MIT Press, Cambridge, MA, U.S., pp. 1-512.
- Statistics Korea (2024). Korea standard industry classification, accessed 1 May 2024, <<https://kssc.kostat.go.kr>>.
- Sun, S., Cao, Z., Zhu, H., and Zhao, J. (2019). "A survey of optimization methods from a machine learning perspective." *IEEE Transactions on Cybernetics*, Vol. 50, No. 8, pp. 3668-3681.
- Sun, Z., Zhang, J., Yan, D., Wu, L., and Guo, E. (2015). "The impact of irrigation water supply rate on agricultural drought disaster risk: A case about maize based on EPIC in Baicheng City, China." *Natural Hazards*, Vol. 78, pp. 23-40.
- Thomas, V., Albert, J.R.G., and Hepburn, C. (2014). "Contributors to the frequency of intense climate disasters in Asia-Pacific countries." *Climatic Change*, Vol. 126, No. 381-398.
- Vazirani, V.V. (2001). *Approximation algorithms (Vol. 1)*. Springer, Berlin, Germany.
- Yao, T., Bolch, T., Chen, D., Gao, J., Immerzeel, W., Piao, S., Su, F., Thompson, L., Wada, Y., and Wang, L. *et al.* (2022). "The imbalance of the Asian water tower." *Nature Reviews Earth & Environment*, Vol. 3, No. 10, pp. 618-632.
- Yu, J.S., Shin, J.Y., Kwon, M., and Kim, T.W. (2017). "Bivariate drought frequency analysis to evaluate water supply capacity of multi-purpose dams." *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, Vol. 37, No. 1, pp. 231-238.
- Zhang, F., Wu, Z., Xu, H., Wang, H., Zhang, X., and He, C. (2024). "Study on adaptive regulation based on water supply-demand system structure and water use desirability under extreme drought." *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 110, 104602.

부 록

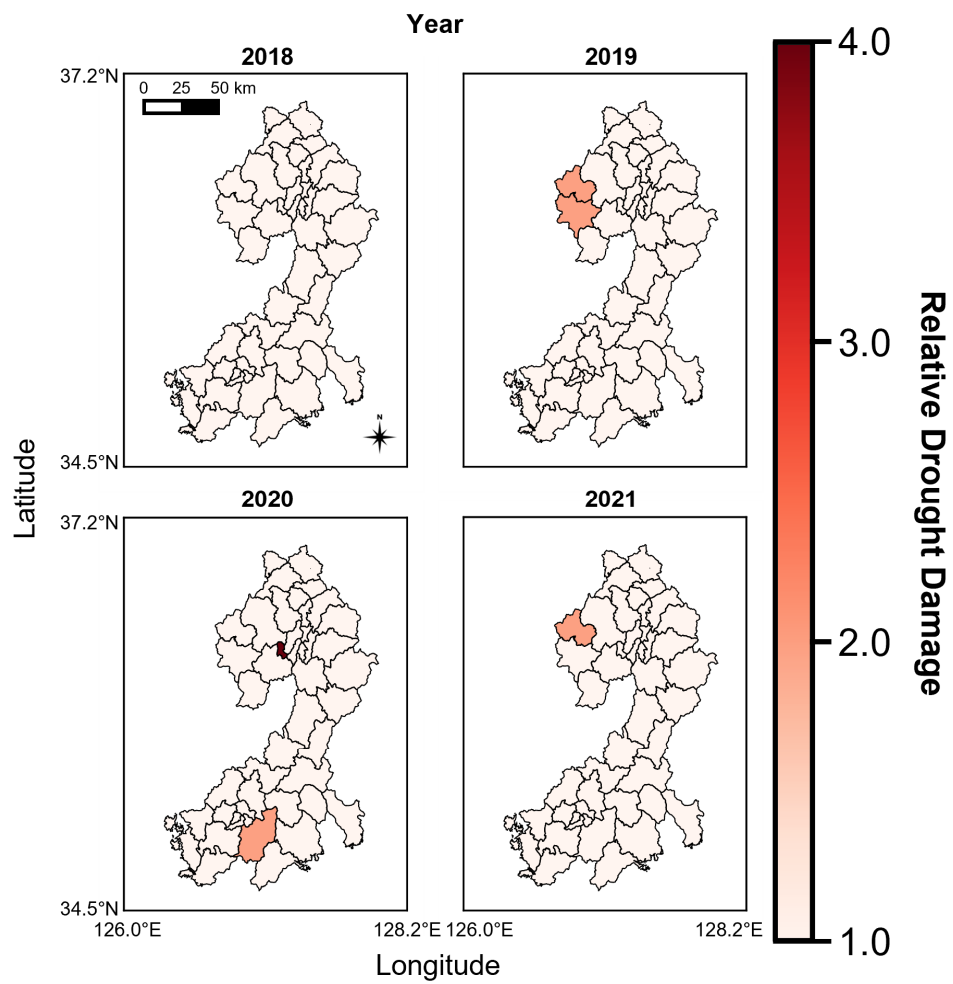


Fig. 4. Spatial distributions of relative drought damage on the study area during 2018 to 2021

Table 6. Changes in relative drought damage with changes in agricultural/domestic/industrial usage

No.	Agricultural Usage						Domestic Usage						Industrial Usage					
	D_{50}			D_{50}			D_{50}			D_{50}			D_{50}			D_{50}		
	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2020
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	1.00	1.00	1.00	1.03	1.00	1.00	1.00	1.03	1.00	1.00	1.00	1.03	1.00	1.00	1.00	1.03	1.00	1.03
7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
8	1.00	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00	1.00	1.02	1.00	1.02
9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10	1.00	1.00	1.00	1.03	1.00	1.00	1.00	1.03	1.00	1.00	1.00	1.03	1.00	1.00	1.00	1.03	1.00	1.03
11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
12	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
13	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
14	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.08	1.04	1.05	1.00	1.00
17	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.28	1.07	1.07	1.00	1.00
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.02	1.00	1.00	1.00
19	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
21	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
22	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.14	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
23	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
24	1.00	1.00	3.68	3.37	1.00	1.00	3.68	3.37	1.00	1.56	1.26	3.11	3.09	3.68	3.37	1.00	3.68	3.37
25	1.00	1.00	1.04	1.00	1.00	1.00	1.04	1.00	1.00	1.00	1.04	1.00	1.00	1.02	1.00	1.04	1.00	1.04
26	1.00	1.66	1.08	1.02	1.00	1.87	1.00	1.00	1.00	1.83	1.02	1.02	1.00	1.79	1.00	1.00	1.00	1.02
27	1.00	1.61	1.00	1.00	1.00	1.94	1.00	1.00	1.00	1.97	1.00	1.00	1.00	1.93	1.00	1.00	1.00	1.00
28	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
29	1.00	1.00	1.00	1.12	1.00	1.00	1.00	1.11	1.00	1.00	1.00	1.12	1.00	1.00	1.00	1.27	1.00	1.12
30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
31	1.00	1.00	1.00	2.55	1.00	1.00	1.00	1.03	1.00	1.00	1.00	1.07	1.00	1.00	1.00	1.03	1.00	1.03
32	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
34	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
36	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
38	1.12	1.00	1.19	1.15	1.12	1.00	1.19	1.15	1.12	1.00	1.19	1.15	1.12	1.00	1.19	1.42	1.21	1.15
39	1.00	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.00	1.05	1.06	1.00	1.00	1.00	1.63	1.00	1.02
40	1.00	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00	1.00	1.03	1.04	1.00	1.04	1.08	1.00	1.00	1.00	1.06	1.00	1.02
41	1.00	1.00	1.88	1.37	1.00	1.00	1.89	1.37	1.00	1.00	1.88	1.27	1.00	1.00	1.95	1.71	1.10	1.37
42	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
43	1.01	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
44	1.00	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00	1.00	1.02	1.01	1.00	1.00	1.02	1.00	1.02
45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00
46	1.04	1.00	1.00	1.02	1.32	1.00	1.00	1.02	1.06	1.00	1.00	1.02	1.08	1.00	1.00	1.02	1.00	1.02