



A preliminary study on the determination of drought stages at the local level

Lee, Jongso^a · Jeon, Daeun^b · Yoon, Hyeoncheol^c · Kam, Jonghun^d · Lee, Sangeun^{e*}

^aAssistant Research Fellow, Construction Economy & Industry Research Division, Korea Research Institute for Human Settlements, Sejong, Korea

^bSenior Researcher, Chemicals Research Division, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea

^cResearch Officer, National Intergrated Drought Center, national Disaster Management Research Institute, Ulsan, Korea

^dAssociate Professor, Division of Environmental Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea

^eResearch Fellow, Land & Infrastructure Safety Research Center, Korea Research Institute for Human Settlements, Sejong, Korea

Paper number: 23-085

Received: 24 October 2023; Revised: 28 November 2023; Accepted: 29 November 2023

Abstract

This study aims to develop rules for the Determination of Drought Stages at the Local Level based on the drought cases in Gwangju and Jeollanam-do in 2022-2023. Among the eight drought indicators provided, six indicators (Agricultural drought stage (for paddy), Residential & industrial drought stage, SPI-12, Relative agricultural water storage, Residential water consumption change (for domestic use), Residential water consumption change (for non-domestic use) were confirmed to have statistical correlations with the perceptions of local government officials and experts. Additionally, this drought indicator was applied to a decision tree algorithm to develop rules for determining the severity of drought. Although it presented results similar to those of the existing method presented in previous studies, it showed a significant comparative advantage in explaining the temporal and spatial patterns of drought in the Gwangju and Jeollanam-do.

Keywords: Drought stage, Drought warning, Decision tree algorithms, Local level

지역 단위 가뭄단계 판단규칙 개발에 관한 연구

이종소^a · 전다은^b · 윤현철^c · 감중훈^d · 이상은^{e*}

^a국토연구원 건설경제산업연구본부 부연구위원, ^b국립환경과학원 화학물질연구과 전문위원, ^c국립재난안전연구원 국가통합가뭄센터 시설연구사, ^d포항공과대학교 환경공학부 부교수, ^e국토연구원 안전국토연구센터 연구위원

요 지

본 연구는 2022-2023 광주·전남지역 가뭄 사례를 바탕으로 지역 단위에서 가뭄의 심각성을 토대로 가뭄단계를 판단하는 규칙을 개발하기 위해 실시되었다. 전국의 시·군 단위로 발표되는 8가지 가뭄지표 중에서 농업용수(논) 가뭄단계, 생·공용수 가뭄단계, SPI-12, 농업용 저수지 저수율, 예년 대비 가뭄용수 사용량 변화율, 예년 대비 비가뭄용수 사용량 변화율 등의 6가지 지표는 담당자·전문가들의 인식과 통계적 상관성을 확인할 수 있었다. 또한 이 가뭄지표를 의사결정트리 알고리즘에 적용하여 가뭄의 심각성을 판단하기 위한 규칙을 도출하였는데, 선행연구에서 제안한 기존의 방법과 유사한 결과를 제시하나, 광주·전남지역 가뭄에서 확인된 시·공간적인 패턴을 설명하는데 있어서 상당한 비교우위를 보였다.

핵심용어: 가뭄단계, 가뭄예경보, 의사결정트리 알고리즘, 지역 단위

*Corresponding Author. Tel: +82-44-960-0465
E-mail: selee@krihs.re.kr (Lee, Sangeun)

1. 서론

우리나라는 2015년 극심한 가뭄을 계기로 관계부처 가뭄 대책 합동 테스크포스를 구성하고 당시 국민안전처가 가뭄 총괄 조정의 역할을 맡되 여러 부처에서 기상, 농업용수, 생활 및 공업용수 측면의 가뭄을 유기적으로 대처하도록 역할을 분담하였다. 2016년 3월부터 각 부처는 소관 가뭄에 대해 ‘관심, 주의, 경계, 심각’의 4단계로 구분하여 가뭄 예·경보를 시행하게 되었다(MPSS, 2016). 2018년에는 국가 위기관리 매뉴얼 개정을 통해 위기유형으로서 가뭄재난을 고려하게 되었으며 가뭄의 진행상황에 따라 대비·대응하기 위한 실행 기반을 마련하였다. 또한 2021년에는 관계부처 합동 가뭄종합대책에 근거하여 가뭄 예·경보 체계, 제한급수 및 제한발전 등 응급조치에 대한 자연재해대책법상의 법률적 근거를 마련하였다.

가뭄에 적절하게 대비·대응하기 위해 가뭄의 심각성에 근거하여 예·경보 단계를 정확히 결정하는 것이 가장 기초가 되어야 함에도 불구하고 방법론상의 한계는 여전하다. 그중에서도 본 연구는 소관부처별로 분절화된 가뭄 심각성에 대한 판단과 이로 인한 분절화된 예·경보 단계를 시행하는 문제를 주목하였다. 기상청, 농림식품부, 그리고 환경부가 각자의 기준에 근거해 가뭄 단계를 발표하게 되어 해당 부처의 응급조치의 결정은 과거보다 명확해진 것이 사실이다. 그러나 가뭄 단계의 분절화로 인해 특정 공간에 대한 종합적인 심각성을 판단할 수 없기 때문에 정작 일차적인 재난관리 주체인 지자체의 능동적인 대비·대응 조치가 연결되지는 못한다(Lee et al., 2023). 아울러, 각 부처가 아닌 국가의 재난관리 차원에서 가뭄에 대한 위기관리 수준을 결정하고 부처 간 협업수준을 결정하기도 쉽지 않다(National Disaster Management Research Institute, 2021). 이러한 기존 예·경보의 한계로 인해 정부는 2023년 4월 가뭄 진단 및 향후 대책을 발표하면서 가뭄 위기대응체계를 다시 정비하기로 하였다. 다양한 측면의 가뭄지표를 토대로 지역 단위로 종합적인 심각성을 진단하는 미국 연방정부의 국가가뭄지수인 USDM (Svoboda et al., 2002)나 주 정부 가뭄계획에 포함된 지역 단위 가뭄 예·경보 방식(예를 들어, California DWR, 2010; Connecticut IDW, 2018; New Mexico OSE and WRRI, 2018)과 같이, 행정안전부는 가뭄의 통합적인 예·경보를 실시하고 지자체에게 통합 지도를 제공하는 것을 목표로하였다(Multi-ministries Cooperative, 2023).

지역별 가뭄의 심각성을 나타내는 지역 단위 예·경보 시행은 2015년 초기부터 그 필요성이 제기되어 왔으나, 국내 연구

는 제한적인 수준으로 이뤄졌다. 관계부처 합동 가뭄 TF의 간사를 담당하고 있는 국립재난연구원의 지원으로 수행된 두 가지 연구, 즉, 수정결합가뭄지수(Yoon et al., 2020)나 규칙 기반 통합 가뭄 예·경보 기술(Lee and Lee, 2022)을 제외하고는 발견하기 힘들다. 두 연구 모두 현재 각 부처에서 발표하는 세 가지 종류의 가뭄단계를 산술적으로 조정하는데 연구의 초점을 두었다. 이는, 부처별 가뭄단계가 국가 승인통계에도 반영되는 정부의 공식 발표라는 사실로 인해 지역 단위 예·경보를 새롭게 도입하더라도 이 세 가지 가뭄단계들과의 일관성이 필요하기 때문이다. 그러나 선행연구들은 실제 가뭄 상황이 아닌 가상의 조건에 대한 전문가 설문조사로 도출한 주관적 가중치를 활용하여 세 가지 가뭄단계를 단순히 ‘조합’하는 산식을 제시하고 있어 재현 능력 검증과 같은 이론적 한계를 띄고 있다.

이러한 배경에 따라 본 연구는 지역 단위로 가뭄의 심각성을 판단하는 방법론을 개발하기 위한 목적으로 수행되었다. 선행 연구와의 차별성으로는 1) 2022-2023 광주·전남 가뭄 사례, 특히, 가뭄의 영향을 크게 받은 광주, 목포, 여수, 순천, 나주, 광양, 담양, 고흥, 보성, 화순, 함평, 영광, 장성, 완도 등 14개 시·군을 대상으로 한 담당자·전문가 인식 조사 결과를 활용하여 가뭄 심각성과 가뭄지표의 관계성을 실증하고 2) 가뭄지표로 각 부처의 공식적인 가뭄 단계뿐만 아니라 기상, 농업, 생·공업수 측면에서 추가 고려할 수 있는 보조지표를 활용하며 3) 의사결정트리 알고리즘을 적용하여 가뭄단계 판단기준을 도출할 가능성을 확인하였다. 아울러, 해당 가뭄 사례에 대해 기존 연구(NDMI, 2021; Lee and Lee, 2022)를 통해 개발된 규칙 기반 통합 가뭄 예·경보 기술(이하, ‘RHT’로 명명)과 비교하여 금회 의사결정트리로 만든 판단기준의 비교·우위를 검토하기로 하였다.

2. 방법론

2.1 가뭄의 심각성 측정을 위한 담당자·전문가 인식 조사

다른 자연재난과는 달리 가뭄은 가시적인 피해가 드러나지 않아 특정 시점에 각 지역에서 진행되는 가뭄의 심각성을 측정하는데 어려움을 지닌다(Lee and Cha, 2015). 이에 따라 본 연구에서는 가뭄의 심각성에 대한 대리지표(proxy)를 설정하기 위해 담당자·전문가 인식 조사를 실시하였다.

가뭄관련 담당자는 광주·전남지역 지자체 공무원과 한국수자원공사, 한국농어촌공사 등 수자원 관리기관 소속 담당자 69인을 대상으로 가뭄이 확대되던 2023년 1월 중순에 설문

조사를 실시하였다. 전문가의 경우 기상, 수문 및 재난관리 분야 전문가 8인을 대상으로 2023년 4월 그룹토의를 실시하였다. 설문조사와 그룹토의 모두 조사에 앞서 2022년 3월 이후 관계부처 합동 TF에서 발표한 부처별 가뭄단계 발표, 가뭄영향에 대한 주요 언론보도, 정부와 지자체의 비상대책 추진 현황 등의 정보를 월별로 작성하여 제공하였다. 이어서 지역 단위에서 가뭄의 심각성을 나타내는 ‘정상’, ‘관심’, ‘주의’, ‘경계’, ‘심각’ 등 각 단계의 정의를 Table 1과 같이 설명하였고, 각 단계에 해당하는 시점을 2022년 3월에서 2023년 3월의 기간 내에서 각자가 판단하도록 하였다.

담당자와 전문가 그룹 각각의 응답분포를 토대로 해당 기간을 가뭄단계로 구분하였다. 가뭄 영향의 징후를 포착한 관심단계 시점의 경우 담당자 그룹에서 2022년 10월, 전문가 그룹에서 2022년 7월로 응답하였고, 유의미한 가뭄 영향이 발생한 주의단계 시점의 경우 담당자 그룹에서 2022년 11월, 전문가 그룹에서 2022년 8월로 응답하였다. 아울러, 유형적인 피해가 발생한 경계단계 시점의 경우 담당자 그룹과 전문가 그룹 모두 2022년 11월로 인식하는 것으로 조사되었으며, 피해 확대에 위기상황에 이르는 심각단계는 조사기간 동안 발생

하지도, 예상되지도 않는 것으로 응답되었다. 담당자 그룹에서는 가뭄단계의 시점을 다양하게 판단하여 응답이 수렴되지 않는 경향과 함께 각 단계의 시점이 정부의 중대 대책 발표에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 이에 반해 전문가 그룹에서는 가뭄단계에 대한 응답이 수렴되며, 담당자 그룹에 비해 시점상 앞서 있는 것으로 분석되었다.

2.2 기상, 농업용수 및 생활공업용수 부문 가뭄지표 선정

본 연구에서는 전국의 시·군 단위로 가뭄의 심각성을 측정하는데 활용 가능한 가뭄지표의 후보군을 선정한 뒤 앞에서 얻은 담당자·전문가의 인식 조사결과와의 상관성을 토대로 Table 2와 같이 최종적으로 가뭄지표를 확정하였다.

가뭄지표의 후보군에는 우선 기상청에서 6개월 누적강수량을 토대로 판단하는 기상 가뭄 단계, 농림축산식품부에서 저수율과 토양 유효수분율을 토대로 판단하는 농업용수 가뭄 단계(논 및 밭으로 각각 구분), 환경부에서 하천 및 수자원시설의 수위로 판단하는 생활용수·공업용수 가뭄(이하 ‘생공용수’로 표현) 가뭄단계를 활용하였다. 기상, 농업용수, 그리고 생·공용수 가뭄단계는 2019년에 부처별로 판단기준을 조

Table 1. Questions for determining the month for each drought stage

Question	Additional Explanations on Each Drought Stage
Q1. Please mark the month when you perceived an indication of a drought.	<ul style="list-style-type: none"> Assuming that a local drought severity becomes the Attention stage Possible to be difficult to supply water in the future when considering water resources availability and meteorological expectations
Q2. Please mark the month when significant effects due to drought occurred or are expected to occur.	<ul style="list-style-type: none"> Assuming that a local drought severity becomes the Caution stage Possible to observe drought effects such as deteriorated ecological quality, poor crop growth, and low water supply service quality
Q3. Please mark the month when tangible damages due to drought occurred or are expected to occur.	<ul style="list-style-type: none"> Assuming that a local drought severity becomes the Alert stage Possible to observe drought damages in citizens’ lives or a local economies that arise from limitations in residential, industrial or agricultural water supplies due to drought
Q4. Please mark the month when a local crisis due to drought is expected to occur without contingency actions.	<ul style="list-style-type: none"> Assuming that a local drought severity reaches the Serious stage Possible to observe that citizens’ lives or local economies are widely and seriously worsened by drought

Table 2. Candidates for drought indicators

	Category	Notation	Data Type
Official Drought Warning Indicators	Meteorological Drought Stage		X_m
	Agricultural Drought Stage	for Paddy	X_p
		for Field	X_f
	Residential & Industrial Drought Stage		X_r
Other Drought Indicators	SPI12		X_s
	Relative Agricultural Water Storage (%)		X_a
	Residential Water Consumption Change (%)	for Domestic Use	X_d
		for Non-domestic Use	X_n

Table 3. Characteristics of decision tree algorithms

	CHAID	CART	C5.0
Output Value	Categorical, Continuous	Categorical, Continuous	Categorical
Input Value	Categorical, Continuous	Categorical, Continuous	Categorical, Continuous
Node Criteria	Chi-square Statistics, F-Statistics	Gini Coefficient, Variance Reduction	Entropy & Information Gain
Decision Nodes Number	Multiway Split	Binary Split	Multiway Split
Pruning	Impossible	Possible	Possible

정하였으며(Multi-ministries Cooperative, 2020), 이후 행정안전부 기후재난대응과에서 보도자료(MOIS, 2023)를 통해 전국의 시·군에 대해 매월 ‘정상’, ‘관심’, ‘주의’, ‘경계’, ‘심각’으로 발표해 오고 있다. 정부의 공식적인 가뭄단계 발표 외에도 전국의 시·군에 대해 월별로 가뭄의 심각성을 잘 측정하기 위해 활용 가능한 자료를 추가 조사하였는데, 12개월 누적 강수량을 토대로 발표하는 SPI-12, 평년대비 농업용 저수지 저수율(%), 가뭄 직전년도 대비 용수 사용량 변화율(%), 가정용 및 비가정용으로 구분하였으며 비가정용은 영업용, 대중탕용 등으로 구성)을 선정하였다. 이 중에서 SPI-12는 기상청의 수문기상 가뭄정보 시스템(KMA, 2023)을 통해, 평년대비 농업용 저수지 저수율은 농림축산식품부의 농업가뭄 관리시스템(MAFRA, 2023)을 통해 자료를 수집하였으며, 가뭄 직전년도 대비 용수 사용량 변화율의 경우 행정안전부 공문 시행을 통해 가뭄이 발생하기 이전인 2021년 3월부터 2023년 3월까지 각 시·군에 월별 용수 사용량을 가정용 및 비가정용으로 구분하여 집계하도록 요청하였다.

담당자전문가 인식 조사뿐만 아니라 가뭄지표 후보 중 4가지는 0(‘정상’), 1(‘관심’), 2(‘주의’), 3(‘경계’), 4(‘심각’)으로 구분된 이산형 서열척도(Ordinal scale)로 측정된다. 따라서 가뭄지표의 후보와 담당자전문가 인식 조사의 상관관계를 분석하기 위해서 스피어만의 순위 상관계수(Spearman’s rank correlation coefficient) 값을 토대로 통계적으로 유의성을 살펴보았다.

2.3 가뭄단계 판단규칙 도출을 위한 의사결정트리 적용

14개 지자체의 월별 가뭄지표를 바탕으로 전문가담당자 인식 조사로 파악한 가뭄단계를 분류하는 모형을 구축하기로 하였다. 다양한 분류모형을 적용할 수 있지만, 본 연구에서는 가뭄 심각성을 나타내는 가뭄단계 변화의 불연속성을 효과적으로 극복함과 동시에 가뭄지표의 조건을 바탕으로 명확한 판단규칙을 도출하는 장점(Jeon and Cho, 2019)을 활용하고자 의사결정트리를 적용하였다. 오랜 기간 의사결정트리의 다양한 알고리즘이 개발되어 있는데, 본 연구에서는 Table 3에 제시된

가장 범용적인 3가지 알고리즘, 즉, CHAID (Kass, 1980), CART (Breiman *et al.*, 1984), 그리고 시드니대학에서 개발한 C4.5(Quinlan, 1993)를 상업용으로 발전시킨 C5.0을 적용한 뒤 적절한 단일 판단규칙을 선택하였다. CHAID는 카이제곱 또는 F검정을 이용하여 다지분리 분류를 수행하며, 과적합되기 전에 트리형성을 멈춘다는 장점이 있다. 또한 CART는 Gini 계수, 분산차이를 이용하여 이진분류를 수행하며, C5.0은 엔트로피, Information gain으로 다지분류를 수행한다.

세 가지 알고리즘을 적용하기에 앞서 판단규칙의 적정성 기준으로는 세 가지를 가정하였다. 첫째, 가뭄지표와 판단규칙을 결합하여 얻을 수 있는 가뭄단계의 개수는 담당자전문가 인식 조사에 포함된 가뭄단계의 개수와 동일하도록 기준을 두었다. 둘째, 학습 시 분류 정확도가 70%를 상회하여야 하며 검증 시에도 분류 정확도가 크게 저하되지 않아 결과 예측의 안정성을 보이도록 하였다. 셋째, 분류를 할 때 유효하게 사용되는 가뭄지표는 최소한 기상, 농업용수, 생공용수 등 가뭄의 모든 측면을 고려할 수 있도록 기준을 두었다.

2022년 3월에서 2023년 3월까지의 광주·전남 내 총 14개 지자체에 대해 가뭄지표를 입력으로, 그리고 인식조사 결과(담당자와 전문가로 각각 구분)를 출력으로 하도록 DB (케이스는 개월수, 지자체수, 그리고 담당자·전문가를 구분하도록 $13 \times 14 \times 2 =$ 총 364개, 레코드는 가뭄지표와 인식조사에 의한 가뭄단계 결과로 $9+1 =$ 총 9개이므로 자료의 수는 $364 \times 9 =$ 총 3,276)를 구축하였다. 학습과 검정을 위해 364개의 케이스를 50%씩 무작위 분할하여 사용하였다.

3. 결과 및 검토

3.1 가뭄지표 선정 결과

2022년 3월에서 2023년 3월까지의 기간 동안 광주전남 가뭄영향을 받은 14개 지자체에 대해 담당자 및 전문가 위험인식조사를 토대로 설정한 가뭄단계와 8가지 지표 간의 상관관계를 분석한 결과는 다음과 같이 요약된다. Table 4와 같이 6

Table 4. Results of the correlation analysis between drought indicators and drought perception surveys

		Drought Perception		
			from Persons in charge	from Experts
Drought Indicators	X _m	Cor. Coef.	-.190*	-.069
		Significance	.010	.353
		N	182	182
	X _p	Cor. Coef.	.261**	.284**
		Significance	<.001	<.001
		N	182	182
	X _f	Cor. Coef.	.017	-.028
		Significance	.870	.786
		N	98	98
	X _r	Cor. Coef.	.694**	.874**
		Significance	<.001	<.001
		N	182	182
	X _s	Cor. Coef.	-.644**	-.774**
		Significance	<.001	<.001
		N	182	182
	X _a	Cor. Coef.	-.233**	-.340**
		Significance	.002	<.001
		N	182	182
X _d	Cor. Coef.	-.292**	-.307**	
	Significance	<.001	<.001	
	N	182	182	
X _n	Cor. Coef.	.142	.222**	
	Significance	.056	.003	
	N	182	182	

note: * and ** mean that correlation coefficients are respectively significant at the 0.05 and 0.01 levels

가지 지표는 가뭄단계와 통계적으로 유의한 상관관계가 확인되었다. 특히, 생·공용수 가뭄단계(X_r)와 SPI-12(X_s)의 두 지표는 상관계수값이 0.5를 상회하는 수준으로 담당자·전문가가 인식한 가뭄단계와 높은 상관성을 보이는 것으로 분석되었다. 이에 반해, 기상 가뭄단계(X_m)와 농업용수(밭) 가뭄단계(X_f)는 정부의 공식 발표임에도 불구하고 담당자·전문가가 인식한 가뭄단계와 상관성을 관찰할 수 없었다.

3.2 가뭄단계 판단규칙 도출 결과

상관성이 확인된 6가지 가뭄지표를 세 가지 의사결정트리 알고리즘에 적용하였다. 최종적으로 CHAID를 통해 도출한 판단규칙이 가장 적절한 것으로 확인되었다. 즉, 학습에 사용한 4가지 가뭄 발령 단계, 즉, ‘정상’, ‘주의’, ‘관심’, ‘경계’를 모두 구분할 수 있었으며, 6가지 가뭄지표 중에서 5가지, 즉, 농업용수(논) 가뭄단계(X_p), 생·공용수 가뭄 발령 단계(X_r),

SPI-12(X_s), 가정용수 사용량 변화율(X_d), 비가정용수 사용량 변화율(X_n) 지표를 포함하였다. 또한 학습단계의 분류 정확도는 73.7%로 양호한 수준이었으며, 검증단계의 분류 정확도도 67.6%로서 학습과 검증단계 간의 정확도 저하도 크지 않았다. 나머지 두 가지 알고리즘을 통해 도출한 판단규칙은 가뭄단계의 분류 개수가 불충분하거나, 분류 정확도가 70%를 넘지 않거나, 가뭄의 모든 측면을 반영하는 가뭄지표를 포함하지 못했으며 도출결과는 Fig 1과 같다. 생·공용수 가뭄 발령이 정상, 관심, 주의, 경계 단계에 따라 처음 분류가 되며, 정상일 경우 SPI-12(X_s), 관심, 주의, 경계일 경우 가정용수 사용량 변화율(X_d)에 따라 구분하게 된다. 이후에는 Fig 1과 같이 해당 지표에 따라 분류하고 최종적으로 가뭄의 심각성을 판단하게 된다.

- ✓ Algorithm: CHAID (Accuracy: 73.7% at the learning step and 67.6% at the test step)
- ✓ Num. of Classification: 4
- ✓ Selected inputs: agricultural drought stage, residential & industrial drought stage, SPI-12, domestic water consumption change and non-domestic water consumption change
- ✓ Structure of the Decision Tree

if $X_r = S_0$
 if $X_s \leq -1.610 \Rightarrow S_2$; else $\Rightarrow S_0$
 if $X_r = S_1$
 if $X_d \leq 99\%$
 $X_s \leq -1.610 \Rightarrow S_2$; else $\Rightarrow S_1$
 else
 $X_s \leq -1.610 \Rightarrow S_2$; else $\Rightarrow S_0$
 else
 if $X_d \leq 92\% \Rightarrow S_3$
 else
 if $X_a = S_0$
 if $X_n \leq 109\%$
 if $X_d \leq 98\% \Rightarrow S_3$; else $\Rightarrow S_2$
 else $\Rightarrow S_3$
 else
 if $X_d \leq 106\% \Rightarrow S_3$; else $\Rightarrow S_2$

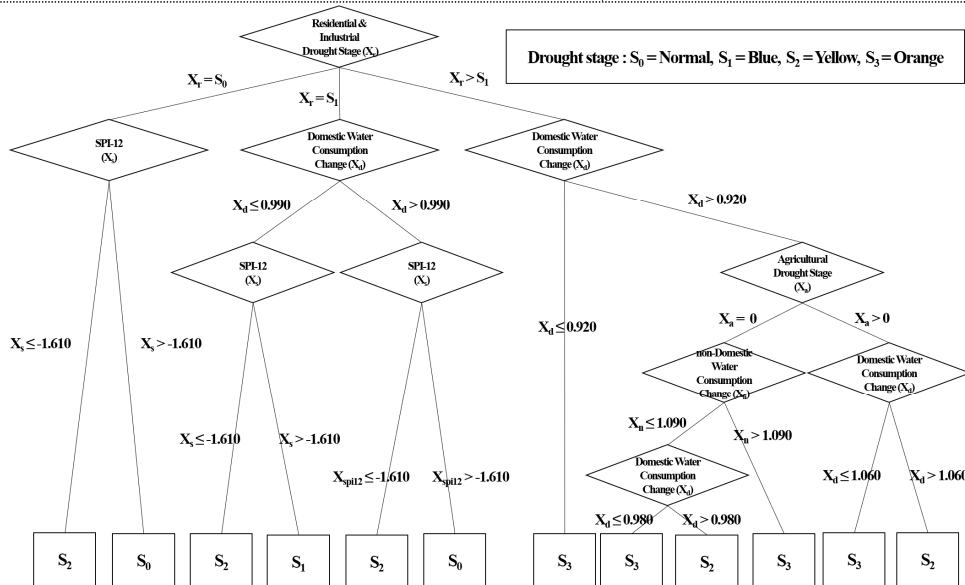


Fig. 1. Results of selection of the decision tree algorithm

3.3 기존 방법과의 비교·분석

금회 CHAID 알고리즘으로 도출한 판단규칙의 방법론상의 개선 여부를 확인하기 위해 2022-2023 광주·전남 가뭄 영향지역을 대상으로 기존 방법인, RHT를 활용한 가뭄단계 산정 결과와 두 가지 측면에서 비교하였다.

첫째, 두 가지 방법에 의한 결과 간의 유사성을 살펴보았다. 순위 상관계수인 spearman $r = 0.602$ 로서 상관성은 유의한 수준이나 그리 유사하다고 보기는 힘들었다. 만일, 지자체를 시와 군으로 구분할 때 시에 해당하는 6개 도시의 경우 spearman $r = 0.767$ 로서 유사성이 비교적 높으나, 군에 해당하는 8개 도시의 경우 spearman $r = 0.539$ 에 불과하였다. 즉, 시 단위 지자체에 비해 군 단위 지자체는 서로 다른 가뭄단계를 산출하는 경향을 확인하였다. 이는 시에 해당하는 6개 도시의 경우 생활

및 농업용수 관련 중요도가 높기 때문인 것으로 사료된다.

둘째, 각각의 방법에 의한 시·공간적 패턴을 비교하였다. 시간적 패턴의 경우 실제 동 기간 광주·전남지역은 유의미한 강우를 경험하지 못한 2022년 7월부터 몇 차례의 큰비로 해갈이 된 2023년 4월의 전까지 가뭄이 계속해서 심화되었다. 따라서 동 기간에 대한 14개 지자체의 가뭄단계에 시간적인 증가추세가 명확히 확인되어야 한다. 금회 연구를 통해 만든 CHAID 알고리즘으로 도출한 판단규칙은 해당 기간 동안 낮은 수준의 가뭄에서 높은 수준의 가뭄으로 심화되는 경향을 확인할 수 있었다. 즉, 월 단위 시간 변화에 따른 평균 가뭄단계의 기울기는 표준화 계수 0.825로 관점에서 경계까지 뚜렷한 경향을, 유의확률 0.006으로 충분한 유의성을 확인할 수 있었다. 이에 반해 RHT의 결과는 동 기간 가뭄단계의 기울기는

Mun.	GJ	MP	YS	SC	NJ	GY	DY	GH	BS	HS	HP	YG	JS	WD
Mar 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Apr 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
May 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jun 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jul 22	0	1	1	1	0	0	3	0	0	0	3	3	3	0
Aug 22	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	3	3	2	2
Sep 22	2	2	3	3	3	2	3	2	2	3	2	3	2	2
Oct 22	2	2	3	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2
Nov 22	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	2
Dec 22	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	2	3	2
Jan 23	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3
Feb 23	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Mar 23	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3

(a) Using the CHAID algorithm

Mun.	GJ	MP	YS	SC	NJ	GY	DY	GH	BS	HS	HP	YG	JS	WD
Mar 22	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1
Apr 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
May 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jun 22	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	2	0	1	1
Jul 22	2	2	2	2	1	2	1	3	3	1	1	1	1	3
Aug 22	3	3	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2
Sep 22	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0
Oct 22	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	1
Nov 22	3	3	3	2	3	3	2	2	3	1	2	1	2	2
Dec 22	3	3	2	2	3	2	2	1	1	1	2	1	2	1
Jan 23	3	3	2	2	3	2	2	1	1	1	2	1	2	1
Feb 23	3	3	2	2	3	2	2	1	1	1	2	1	2	1
Mar 23	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1

(b) Using the RHT

Fig. 2. Estimation of the monthly drought stage for each municipality

표준화 계수 0.183, 유의확률 0.637로서 통계적으로 유의하지 않아 실제 가뭄 기간 동안 관찰되었던 시간적 증가 추세를 묘사한다고 보기 힘들다.

공간적 패턴의 경우 가뭄은 시군 경계를 넘어 영향을 주는 광역적인 재해로서 일반적으로 동일 시기에 인근지역과 유사한 영향을 받는 특성을 지닌다. 2022~2023 광주·전남지역 가뭄도 주암댐, 동북댐 등 일부 수원의 저수량 저조와 관련된 것으로서 본 연구에서 살펴본 14개 가뭄영향 지자체는 대부분이 수원들의 서비스 지역에 해당하였다. 금회 연구를 통해서 도출한 판단규칙을 사용할 때 2022년 7월을 제외하고는 14개 지자체의 가뭄단계는 한 등급 차이에 불과하며 서로 높은 유사성을 보였다. 이에 반해 RHT의 결과는 2022년 7월 이후 전 기간에 걸쳐 두 등급 이상의 차이를 지니고 있어 가뭄단계 산출에 있어서 공간적 이질성을 보일 우려가 있다. 종합하면, 의사결정트리 모형을 통해 도출한 판단규칙을 활용할 경우 기존 방법인 RHT의 결과와 어느 정도 상관성이 있는 결과를 제시하나, 광주·전남지역 가뭄에서 확인된 시·공간적인 패턴을 설명하는데 더욱 효과적임을 알 수 있었다(Fig 2). 여기서 0은 “정상”, 1은 “관심”, 2는 “주의”, 3은 “경계”를 뜻한다.

4. 결론

본 연구는 국가위기관리 지침에 따른 국가와 지자체의 가뭄재난 위기경보의 필요성을 염두하여 지역 단위의 통합적인 가뭄 단계 판단기준을 마련하려는 실용적인 목적에 따라 수행되었다. 2022-2023 광주·전남지역 가뭄 사례를 바탕으로 다양한 가뭄지표와 담당자·전문가들의 인식을 연결하는 규칙을 의사결정트리를 통해 도출하였으며, 다음의 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 전국의 시·군 단위로 가뭄의 심각성을 측정하고자 8가지 가뭄지표 후보군을 선정하였는데, 이 중에서 농업용수(논) 가뭄단계, 생·공용수 가뭄단계, SPI-12, 농업용 저수지 저수율, 예년 대비 가정용수 사용량 변화율, 예년 대비 비가정용수 사용량 변화율 등의 6가지 지표는 광주·전남지역 가뭄 동안 실시한 담당자·전문가들의 인식과 통계적 상관성을 확인할 수 있었다.
- 2) 월별·지자체별로 산정한 6가지 가뭄지표를 담당자·전문가의 인식과 연결하기 위해 대표적인 의사결정트리 알고리즘에 적용하였는데, 분류 개수, 분류 정확도, 그리고 포함된 가뭄지표의 수에 있어서 CHAID 알고리즘이 적절한

가뭄 판단규칙을 제공하였다. CHAID 알고리즘에 의한 판단규칙은 학습에 사용한 4가지 가뭄단계, 즉, ‘정상’, ‘주의’, ‘관심’, ‘경계’를 모두 구분할 수 있었으며, 농업용 저수지 저수율을 제외한 모든 가뭄지표를 활용하며, 분류 정확도도 양호한 수준을 보였다.

- 3) 본 연구 결과를 기존 방법인 RHT를 적용한 결과와 비교·분석하였는데, 두 가지 방법이 서로 어느 정도 상관성이 있는 결과를 제시하나, 의사결정트리에 의한 판단규칙을 활용할 경우 광주·전남지역 가뭄에서 확인된 시·공간적인 패턴을 설명하는데 있어서 상당한 비교우위를 보였다.

본 연구를 통해 방법론상의 가능성을 일부 확인하였지만, 지역 단위의 가뭄단계 발령을 위해 많은 후속연구가 필요하다. 첫째, 본 연구는 가뭄단계를 발령하기 위한 가뭄지표 선정에 있어서 자료의 공신력을 우선시하였다. 그러나 최근 과학기술의 발전으로 인해 국가적으로 수집 가능한 가뭄 지표는 매우 다양하다. 인공위성 영상정보를 통해 산정되는 식생지수를 가뭄 분석에 활용할 수 있도록 국내·외 많은 연구가 이뤄졌으며, 재난에 의한 광역적인 사회반응을 측정하려는 목적에서 언론기사, SNS, 카드소비량 등 빅데이터의 활용방안에 대한 연구도 최근 활발히 이뤄지고 있다. 가뭄단계를 결정하기 위한 보조지표로서 이 같은 광역적인 관측자료의 적용성에 대한 연구도 포괄적인 가뭄영향을 반영하기 위해 필요하다. 둘째, 심각단계의 기준에 대해서는 별도 연구가 필요하다. 2015년 이후 어떤 부처도 가뭄의 심각단계를 발표한 사례가 없다. 2017년에 운문댐 저수량 부족으로 금호강 비상공급을 실시할 때에도, 2023년 초 주암댐과 동북댐의 저수량 부족으로 국가산업단지 정비 일정을 조정하고 대체공급을 위한 유역차원의 연계사업을 추진하였음에도 어떤 부처도 심각단계로 발표하지 않았다. 국가 위기관리 지침상 최대 수준의 행정력을 투입해야 할 가뭄의 심각단계는 어떤 상황을 의미하는지는 여전히 의문으로 남겨져 있다. 국가적으로 가뭄 예·경보체계를 구축한 이후 심각 단계를 겪어보지 않았으므로 본 연구와 같이 실제 사례를 바탕으로 설정하는 것은 불가능하다. 그러나, 기후위기를 대비하는 차원에서 발생 가능한 최악의 상황에 대한 담당자·전문가들의 논의가 앞으로 필요할 것이다. 셋째, 본 연구는 지역 단위의 통합적인 가뭄단계 판단에 초점을 두었지만, 전체 국가 차원의 가뭄단계의 판단 또한 향후 연구를 수행할 필요가 있다. 지역 단위 가뭄단계의 발표는 현장조치 행동 매뉴얼을 통해 지자체의 대비·대응체계에서 활용할 수 있으나, 국가의 가뭄재난 대비·대응체계를 완성하기 위해서는 국가 단위의 가뭄단계 발령 방법을 정하여 위기관리 표

준 매뉴얼의 정비가 필요하다. 특히, 국가 단위의 가뭄단계 발령에 필요한 지역 단위 가뭄 단계의 정량적 척도(예를 들어, 얼마나 많은 지자체가 어떤 가뭄단계에 이를 때 국가 차원에서 특정한 가뭄단계에 도달하였다고 볼 것인가?)에 대한 문제는 정책·실무자들 사이의 논쟁으로 남겨져 있다.

감사의 글

이 논문은 행정안전부 재난안전공동연구 기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2022-MOIS63-001(RS-2022-ND641011)).

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., and Stone, C.J. (1984). *Classification and regression trees*. Routledge. New York, NY, U.S.
- California Department of Water Resources (California DWR) (2010). *California drought contingency plan*. Sacramento, CA, U.S.
- Connecticut Interagency Drought Workgroup (Connecticut IDW) (2018). *Connecticut drought preparedness and response plan*. Hartford, CT, U.S.
- Jeon, Y., and Cho, H. (2019). “Model based hybrid decision tree.” *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, Vol. 30, No. 3, pp. 515-524.
- Kass, G.V. (1980). “An exploratory technique for investigating large quantities of categorical data.” *Journal of the Royal Statistical Society Series C*, Vol. 29, No. 2, pp. 119-127.
- Korea Meteorological Administration (KMA) (2023). Hydrometeorological drought information system, accessed 10 April 2023, <<https://hydro.kma.go.kr/>>.
- Lee, J., and Lee, S. (2022). “A preliminary study on the cooperative multi-ministry decision on the integrated drought warning alert stage using rule-based hybrid techniques.” *The Korea Spatial Planning Review*, Vol. 114, pp. 3-16.
- Lee, S., and Cha, D. (2015). “A study on the urgency and obstacles to introducing a drought disaster management system.” *Magazine of Korea Water Resources Association Water for Future*, Vol. 48, No. 9, pp. 24-27.
- Lee, S., Jeon, D., Lee, J., Kwon, H., and Kam, J. (2023). “Measures

- to improve the preparedness and response system in terms of disaster management due to the deepening and spread of drought in the Gwangju and Jeollanam-do." *Korea Research Institute for Human Settlements Policy Brief*, No. 907, pp. 1-8.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (2023). Agricultural drought management system, accessed 10 April 2023, <<https://adms.ekr.or.kr/>>.
- Ministry of Public Safety and Security (MPSS) (2016). Ministry of public safety and security, First warning alert announced, accessed 15 April 2023, <https://www.mois.go.kr/mpss/safe/open/press/%3Bjsessionid=PIzlu-kyeDibsgxnVEi2RLFi.node11?boardId=bbs_000000000000047&mode=view&cntId=834&category=&pageIdx=64&searchCondition=&searchKeyword=>>
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS) (2023). Korea, accessed 10 April 2023, <<https://www.mois.go.kr/>>.
- Multi-ministries Cooperative (2020). *Comprehensive drought measure*.
- Multi-ministries Cooperative (2023). *Drought diagnosis and future measures: Drought response project card*.
- National Disaster Management Research Institute (NDMI) (2021). *Research on development and strategic plan of the national integrated drought management technology*.
- New Mexico Office of the State Engineer (New Mexico OSE) and Water Resources Research Institute (WRRI) (2018). *New Mexico drought plan: 2018*. NM, U.S.
- Quinlan, J.R. (1993). "C4.5: Programs for machine learning." *Morgan Kaufmann Publishers*. Burlington, MA, U.S.
- Svoboda, M., LeComte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., Rippey, B., Tinker, R., Palecki, M., Stooksbury, D., Miskus, D., and Stephens, S. (2002). "The drought monitor." *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 83, No. 8, pp. 1181-1190.
- Yoon, H., Lee, C., Choi, C., Hwang, J., Kim, M., Jo, H., Kim, W., and Jun, W. (2020). *The development of integrated drought information assessment technique for regional customization*. National Disaster Management Research Institute.