



가뭄 예보의 적극성을 지수 개발 및 2021-2023 가뭄 적극성 분석

Development of Alarm Grit Ratio for Drought Forecasting and Its Application to the 2021-2023 Drought

이세정* · 이태삼** · 이주현***

Lee, Sejeong*, Lee, Taesam**, and Lee, Joo-heon***

Abstract

The frequency and severity of droughts are increasing due to climate change and environmental disturbances brought on due to human development, making drought warning an essential tool in mitigating their effects. Drought warning can, however, be easily overlooked if people disregard its significance or repress water managers with the result of the drought warning. Therefore, in the current study, we developed an Alarm Grit Ratio (AGR) for drought warning to assess how active these have been thus far, and was estimated the ratio for the current drought in Korea from 2021 to 2023. The Korea Meteorological Administration issued three drought warnings, which were classified as agricultural, meteorological, and residential and industrial droughts. We proposed two indices to indicate how an institution issues a drought warning as a forecast for the actual drought warning that follows. These indices were AGR and Transitional Alarm Grit Ratio (TAGR). AGR measures how frequently an institute issues a drought warning forecast based on the number of actual warning conditions. Analysis of the current drought (2021-2023) indicates the issuance of warnings, while TAGR indicates the ratio of the drought warning issuance at each drought. The AGR and TAGR for the agricultural and meteorological droughts indicate underissuance of drought warnings, whereas warnings for residential and industrial droughts were appropriately issued due to the drought impact on residences and industries. Overall, we concludes that AGR and TAGR can be useful indicators of how actively an institution issues drought warnings. An institution in charge of drought warning can track these measurements and control the frequency of drought warnings by including AGR and TAGR data.

Key words : Drought, Alarm, AGR, TAGR, Grit Ratio

요 지

현재 기후변화 등으로 강우 및 수문 사상의 불확실성이 증가하여 가뭄의 예측이 무엇보다 중요해져 가고 있는 실정이다. 하지만, 가뭄을 예측하는 기관 등에서는 다양한 부담 등으로 인하여 가뭄에 대한 예측을 실제로 내리는 데는 한계가 있어왔다. 따라서, 본 연구에서는 현재까지 우리나라의 가뭄 예보가 얼마나 적극적으로 이루어지고 있는지에 대한 판단을 위해 적절한 인자를 개발하고 2021년부터 2023년까지 발생했던 가뭄 상황을 바탕으로 가뭄 예보의 적극성 분석을 실시하였다. 가장 활발하게 가뭄 예보를 발령해 온 행정안전부, 기상청, 농어촌공사, APEC 기후센터의 가뭄 예보 단계별 발령 횟수를 분석하였고 이를 통해 조사에 적합한 자료를 선정하였다. 본 연구에서는 기존에 분석되어 오지 않았던 가뭄 예보 적극성에 대해 가뭄 예보 적극성율(AGR)과 가뭄 전이 예보 적극성율(TAGR)의 두가지 지수를 제시하고 최근가뭄에 대해 분석을 실시하였다. 최근 가뭄 현황을 분석한 결과, AGR과 TAGR 모두 기상가뭄과 농업가뭄에 대한 가뭄 예보 발령이 실제 발령보다 적어 보수적인 발령이 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다. 이에 반해, 생활 및 공업용수 가뭄의 경우 실제 발령에 근접한 횟수로 발령이

*정회원, 경상국립대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: dltpwjd312@gnu.ac.kr)

Member, Undergraduate Student, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University

**교신저자, 정회원, 경상국립대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-55-772-1797, Fax: +82-55-772-1799, E-mail: tae3lee@gnu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, ERI, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University

***정회원, 중부대학교 토목공학과 교수(E-mail: leejh@joongbu.ac.kr)

Member, Professor, Department of Civil Engineering, Joongbu University

이루어져 적극성이 비교적 높은 비율을 나타냈다. 보수적으로 경보가 발령되는 지역의 발령 횟수에 대한 보완이 필요하며, 이를 통해 현재 가뭄 예보의 적극성이 적절하게 유지되도록 하는 방향이 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 가뭄, 가뭄 예보, 가뭄 예보 적극성율, 가뭄 전이 예보 적극성율, 적극성율

1. 서론

최근 들어 전 세계적으로 지구온난화 및 기상이변에 따른 자연재해가 증가하고 있으며, 기후변화의 영향으로 극심한 가뭄이 빈번하게 발생하고 있는 상황이다. 가뭄은 20세기에 관측된 가장 심각한 자연재해 중 하나로 선정되었고, 21세기 기후변화에 따른 기온 및 강수량의 증가는 가뭄 피해의 급증으로 이어질 것으로 미국 대기 환경청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)에서 발표하였다(Trenberth et al., 2004). 우리나라의 경우 강수량이 증가하는 추이를 보이지만, 건조지속기간의 증가 및 기온 상승으로 인한 증발산의 증가로 인해 가뭄의 심도가 증가될 수 있다고 언급한 바 있다(Kim et al., 2013). 특히, 전남 및 남해 지역에 대해서는 가뭄이 더욱 더 심화될 가능성이 있다고 판단된다(Gwak et al., 2018). 가뭄이 극심함에 따라 가뭄 예보를 통하여 다양한 분야에서 가뭄에 대한 대책을 세워 나가야 한다(Buchanan-Smith, 2000; Wihite et al., 2000). 가뭄 예보는 미래의 가뭄 가능성을 예측하는 것으로, 농작물 수확량, 물 공급, 수질, 화재 위험 등 다양한 분야에 영향을 준다(Seo et al., 2009). 농업에서는 작물 재배 계획 수립, 경작 방법 변화, 물 자원 관리 등을 위해 가뭄 예보가 필수적이다(Park et al., 2006). 또한, 일반 시민들은 가뭄으로 인한 물 부족 문제를 사전에 인지하고 대비할 수 있다.

가뭄 발생의 피해를 최소화하기 위해 가뭄 예경보를 진행 하고 있으며(Bae and Son, 2012), 이를 활용하는 다양한 연구가 진행되어 왔다(Yi and Kim, 2004; So et al., 2017; Choi et al., 2021). Yi and Kim (2004)은 가뭄 예경보 시스템과 가뭄계수를 사용한 저수지 운영과, 저수지의 운영을 사용한 저수지 운영을 비교한 바 있으며, So et al. (2017)은 지역별 농업가뭄 평가를 위한 농업 가뭄지표의 적용성을 분석하였다. 또한, Choi et al. (2021)은 지자체 저수지 정보를 가뭄 예경보에 활용하기 위해 관측자료가 존재하는 저수지 유역을 대상으로 장기유출 모형인 TANK모형의 매개변수를 미 계측 지자체 저수지 유역에 적용한 바 있다.

현재, 우리나라는 가뭄 예보가 이루어지고 있기는 하나 가뭄예보시 발생하는 다양한 부담감으로 인해서 실제로 기관에서의 가뭄예보를 적극적으로 발령하기는 어려운 것으로 판단된다. 하지만, 이를 판단하기 위한 지수나 분석은 시행된 적이 없었던 것으로 연구되었다. 따라서 본 연구에서는 가뭄예보가 얼마나 적극적으로 이루어지고 있는지를 평가

하고 앞으로 가뭄예보를 하는 기관에서 이를 참고로 가뭄예보의 발령 빈도를 적정하게 조정하기위한 근거자료를 제시 하고자 한다. 이를 위해 가뭄예보의 적극성을 판단하기 위한 지수를 제시하고 실제 우리나라 가뭄상황인 2021-2023년에 대한 분석을 진행하였다.

2. 연구자료 및 연구사

2.1 Research data

본 연구에서는 행정안전부(농림축산식품부, 환경부, 기상청), 농어촌공사, 기상청, APEC 기후센터에서 제공하는 가뭄 예보 자료를 이용하였으며 최근 우리나라의 가뭄이 심각해짐에 따라 각 기관에서 제공받은 2021년 1월부터 2023년 3월까지의 가뭄현황 지도를 비교 분석하였다.

가뭄 관련 정보를 기관별 목적과 업무 특성에 따라 별도로 생산 및 가공이 필요한 상황이지만 부처 간 연계성이 부족하여 선제적 대응 및 실질적인 정보 제공에 한계가 있다. 이에 행정안전부는 가뭄에 대한 사전 예측, 예방 능력 강화를 위해 기관별 가뭄 정보를 통합한 예경보제를 운영하고 있다. 전국 가뭄 상황에 대한 농림축산식품부(농업적 가뭄), 환경부(수문학적 가뭄), 기상청(기상학적 가뭄)의 정보를 총괄하여 생활 및 공업용수, 농업용수, 기상 3가지 항목의 예보를 내린다. Fig. 1의 (a-1)은 행정안전부의 현재, (a-2)는 1개월 전망의 가뭄지도도를 나타낸다.

농어촌공사는 토양유효수분에 따른 시군 단위의 밭 가뭄 현황(Fig. 1(b-1)). 및 전망에 대한 정보를 제공하며, 1주일 주기로 밭 가뭄 무 강우 시 전망을 예보한다(Fig. 1(b-2)). 농어촌 공사의 자료는 본 연구에 있어 1개월 주기에 대한 확실한 기준이 없어 사용에 어려움이 있었다.

기상청은 수문기상과 가뭄정보를 하나로 통합하여 수문 기상 가뭄정보 시스템을 운영하고 있다. 최근 6개월 누적 강수량을 이용한 표준 강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI; McKee et al., 1995)를 적용하여 가뭄현황 및 전망에 대한 정보를 제공한다. Fig. 1의 (c-1)은 기상청 예보의 현재, (c-2)는 1개월 전망의 가뭄지도도를 나타낸다.

APEC 기후센터는 APCC 다중 모델 앙상블(MME) 예측 시스템을 기반으로 전 지구 가뭄현황 정보(Figs. 1(d-1), (d-2))를 제공하고 있다. APEC 기후센터의 자료는 우리나라 기준이 아닌 전 지구적으로 자료를 제공하여 지역 세분화에 어려움이 있어 분석자료에서 제외했다.

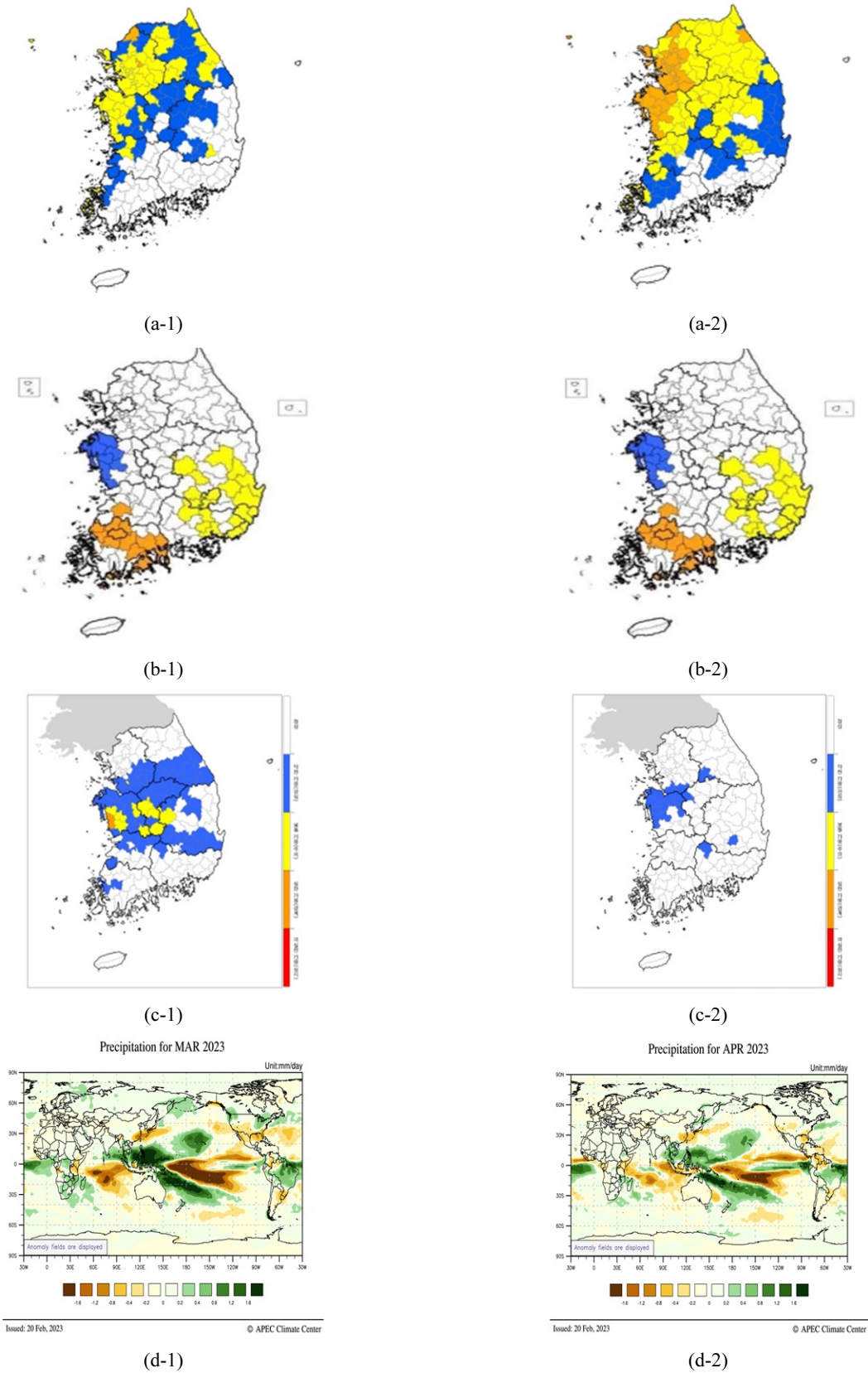


Fig. 1. Drought Forecasting Maps of the Current (Left Panels) and the One-month or One-week Forecasts (Right Panels) from (a) Ministry of the Interior and Safety, (b) Korea Rural Community Corporation (KRC), (c) Korea Meteorological Administration, and (d) APEC Climate Center. Note that KRC Provides One-week Forecast in Public while the Other Institutes Dose One-month Forecast

본 연구의 목적에 따라 실측 값과 예측 값의 비교 분석 과정이 필요하다. 이를 위해 각 기관 당 전국 167시군의 가뭄 단계 별 현재 및 1개월 전망, 3개월 전망에 대한 정보 알람 횟수를 분석하였다.

가뭄 예경보 발령 단계는 행정안전부 기준으로 정상, 관심, 주의, 경계, 심각으로 분류 되어있다(Lee et al., 2003; Lee et al., 2021). 기상 가뭄은 SPI6가 -1.0 이하일 때 관심, SPI6가 -1.5 이하일 때 주의, SPI6가 -2.0 이하일 때 경계, SPI6가 -2.0 이하이며 20일 이상 지속 될 때 심각 경보 단계를 발령한다.

농업가뭄은 논·밭의 경우 평년 저수율이 70% 이하일 때 관심, 평년 저수율이 60% 이하일 때 주의, 평년 저수율이 50% 이하일 때 경계, 그리고 평년 저수율이 40% 이하일 때 심각 경보 단계를 발령하며, 밭의 경우 토양 유효 수분율이 60% 이하일 때 관심, 유효 수분율이 45% 이하일 때 주의, 유효 수분율이 30% 이하일 때 경계, 유효 수분율이 15% 이하일 때 심각 경보 단계를 발령한다.

생활 및 공업용수 가뭄은 하천 및 수자원시설의 수위가 평년에 비해 낮아 정상적인 용수공급을 위해 여유량을 관리 하는 등 가뭄대비가 필요한 경우 관심, 하천 및 수자원시설의 수위가 낮아 하천의 하천유지용량이 부족하거나 댐 및 저수지에서 하천유지용수 공급 등의 제한이 필요한 경우에는 주의 경보 단계를 발령한다. 또한, 하천 및 수자원시설에서 생활 및 공업용수 부족이 일부 발생하였거나 발생이 우려되어 하천유지용수, 농업용수 공급의 제한이 필요한 경우 경계, 하천 및 수자원시설에서 생활 및 공업용수 부족이 확대되어 하천 및 댐, 저수지 등에서 생활 및 공업용수 공급 제한이 발생하였거나 필요한 경우 심각 경보 단계를 발령한다.

행정안전부가 제공한 가뭄 예보 자료에 따라 우리나라의

가뭄 예측 값 또는 실측 값의 횟수가 적어 판별하기 어려운 경계 및 심각 단계의 자료를 제외하고 관심과 주의 단계의 자료를 이용하여 연구를 진행하였다.

Table 1은 본 연구에서 사용하는 관심(Warning), 주의(Caution) 단계의 기준을 나타냈다.

2.2 Previous research

비교평가를 위해서는 다양한 척도가 제시되어오고 있는데, Murphy (1993)는 예측치 및 관측치가 속해 있는 포함군의 비교를 통해 예측검증을 제시했으며, Bae et al. (2013)은 가뭄심도 평가와 함께 결과의 불확실성 평가를 통한 의사결정을 제시한 바 있다. 또한, 이원화된 위험군 분류기법을 통한 성능평가를 통해 ROC 분석(Kim and Lee, 2011)을 진행한 바 있다. ROC 분석은 적중률(Hit Rate, HR)과 비적중률(False Alarm Rate, FAR)로 나타내어 이를 확률적 근거를 통해 가장 높은 확률을 찾아내는 방법이다(Heckerling, 2002). ROC 분석은 Table 2와 같이 나타난다.

혼동행렬(Confusion Matrix)의 열은 실제 가뭄의 발생 유무를 나타내고, 행은 가뭄 예측사건 발생유무로 실제 가뭄 발생 및 예측 성공인 True Positive (TP), 실제 가뭄 미발생에 대한 예측 실패인 False Negative (FN), 가뭄 발생에 대한 예측 실패인 False Positive (FP), 가뭄 미 발생 및 예측 성공을 의미하는 True Negative (TN)으로 분류된다(Jeong et al., 2016).

기존연구 방법은 가뭄 단계별 심각 정도와 지역별 가뭄 대비 정도를 파악하기 어려웠다. 이를 보완하기 위해 본 연구에서는 지역 및 경보 단계별로 가뭄을 예측한 발령 횟수와 실제 경보를 내린 횟수를 비교하여 가뭄 예보 확률

Table 1. Drought Forecasting Warning Standard

Classification	Stages of drought	Drought forecasting and warning standards
Meteorological Drought	Warning	SPI6 (6-month Standardized Precipitation Index) \leq -1.0
	Caution	SPI6 \leq -1.5
Agricultural Drought	Warning	Rice paddy: annual water storage rate during the farming season is 70% or less Field: effective moisture content of soil is 60% or less during farming season
	Caution	Rice paddy: annual water storage rate during the farming season is 60% or less Field: effective moisture content of soil is 45% or less during farming season
Residential & Industrial Drought	Warning	It is necessary to prepare for drought due to the low water level of rivers and reservoirs
	Caution	It is necessary to restrict the water supply due to low water level of rivers and reservoirs

Table 2. Confusion Matrix of ROC

		Actual	
		Positive	Negative
Predicted	Positive	True Positive (TP)	False Positive (FP)
	Negative	False Negative (FN)	True Negative (TN)

값을 도출했다. 가뭄 예보 확률 값은 가뭄 예보 적극성율인 Alarm Grit Ratio (AGR) 및 가뭄 전이 예보 적극성율인 Transitional AGR (TAGR)로 나타냈다.

3. 연구방법

본 연구에서는 가뭄예보시 실제 가뭄사상 대비 얼마나 적극적으로 해왔는지 비교평가를 실시하였다. 이를 위해 예측치 및 관측치에 대한 비교평가를 실시하여야 한다.

3.1 Alarm Grit Ratio (AGR)

본 연구에서는 현재 행정안전부에서 제공하는 가뭄 예보 자료를 이용하여 가뭄 예보 적극성율(AGR)을 분석하였다. AGR은 실제 경보 횟수 대비 예측 경보 횟수를 나타낸 확률이며 Eq. (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$AGR(a) = \frac{N_{Forecast}^a}{N_{Obs}^a} \quad (1)$$

$N_{Forecast}^a$ 는 가뭄 단계, a에 대한 예측 경보 횟수이며, N_{Obs}^a 는 a에 대한 실제 경보 횟수를 의미한다. 본 연구에서는 가뭄 단계를 정상(a = 0), 관심(a = 1), 주의(a = 2), 경계(a = 3), 심각(a = 4)의 단계로 분류하였다. 예를 들어, 10월에 11월의 가뭄 주의(Caution) 단계가 5회 발령될 것이라 예측하였고 11월 현재 가뭄 주의(Caution) 단계 발령이 8회라면 AGR은 5/8인 0.625가 된다.

3.2 Transitional Alarm Grit Ratio (TAGR)

가뭄 전이 예보 적극성율(Transitional Alarm Grit Ratio, TAGR)은 가뭄 예보 적극성율(Alarm Grit Ratio, AGR)과 동일하게 현재 행정안전부에서 제공하는 가뭄 예보 자료를 이용하여 분석하였다. TAGR은 가뭄 경보가 현재 고정된 a 상태에서 b 상태로 전이된 실제 경보 횟수 대비 예측 경보 횟수를 나타낸 확률이며 Eq. (2)와 같이 정의할 수 있다.

$$TAGR(ab) = \frac{N_{Forecasting}^{ab}}{N_{Obs}^{ab}} \quad (2)$$

$N_{Forecasting}^{ab}$ 는 현재 가뭄 a 단계일 때 b 단계로 전이될 것이라고 예측한 경보 횟수이며, N_{Obs}^{ab} 는 실제로 a 단계에서 b 단계로 전이된 경보 횟수를 나타낸다. 예를 들어 가뭄 단계가 정상(i.e. a = 0)에서 관심 단계(i.e. b = 1)로 전이되는 경우 가뭄 전이 예보 적극성율은 TAGR (01)을 나타낸다. 예를 들어, 10월 현재, 광주시, 성남시, 오산시, 하남시, 화성시에 가뭄 관심(Warning) 단계 발령이 내려졌고, 11월에 광주시와 하남시에 가뭄 주의(Caution) 단계 발령이 내려질 것이라고 예측하였다. 실제로 11월에 가뭄 주의(Caution) 단계의 예보가 발령된 지역이 광주시, 성남시, 오산시, 하남시, 화성시라고 했을 때 TAGR은 11월 예측 경보 횟수인 2회, 11월 실제 경보 횟수인 5회에 따라 2/5인 0.4가 된다.

4. 결과

4.1 Alarm Grit Ratio (AGR)

본 연구에서는 기상 가뭄과 농업용수 가뭄, 생활 및 공업용수 가뭄에 대한 1개월 및 3개월 기준의 가뭄 예보 적극성율 (AGR)을 산정하여 Table 3에 정리하였다.

가뭄 예보 적극성율(AGR)이 1보다 작을 때는 예측 경보 횟수보다 실제 경보 횟수가 많은 경우이다. 경보를 보수적으로 발령하고 있다는 의미이다. AGR이 1보다 큰 경우는 예측 경보 횟수가 실제 경보 횟수보다 많은 경우이며 경보를 적극적으로 발령하고 있음을 알 수 있다. AGR이 1인 경우는 예측 경보 횟수와 실제 경보 횟수가 동일하다는 의미이다.

Table 3에 따라 기상가뭄(Meteorological Drought)의 3-Mon Forecast의 주의(Caution) 단계 시 AGR은 0.16이다. 실제 경보 발령 횟수가 100회일 경우 예측 경보 발령 횟수가 16회였음을 의미한다. 이 경우 경보를 상당히 보수적으로 발령하고 있음을 알 수 있다. 또한, Table 2의 생활 및 공업용수 가뭄(Residential & Industrial Drought)의 1-Mon Forecast

Table 3. Alarm Grit Ratio (AGR)

		1-Mon Forecast	3-Mon Forecast
Meteorological Drought	Normal	1.10	1.23
	Warning	0.92	0.36
	Caution	0.35	0.16
Agricultural Drought	Normal	1.00	1.01
	Warning	0.86	0.62
	Caution	0.78	0.43
Residential & Industrial Drought	Normal	0.99	1.00
	Warning	1.15	0.94
	Caution	1.33	1.46

의 관심(Warning) 단계 시 AGR은 1.15이며, 이 경우에는 상당히 경보를 적극적으로 발령하고 있음을 알 수 있다. 기상가뭄과 비교하여 생활 및 공업용수 가뭄의 예보가 적극적인 이유는 생활 및 공업용수의 부족 시 발생하는 사회적인 영향이 매우 크기 때문이다. 농업 가뭄 또한 관심과 주의 단계의 예보 적극성율이 상당히 낮은 것으로 보인다.

4.2 Transitional Alarm Grit Ratio (TAGR)

이에 따라 기상 가뭄과 농업용수 가뭄, 생활 및 공업용수 가뭄에 대한 1개월 및 3개월 기준의 가뭄 전이 예보 적극성율(TAGR)은 Table 4에 정리하였다. 가뭄 전이 예보 적극성율은 각각의 단계에서 예보를 발령하는데 얼마나 적극적인가를 나타내는 것으로 정상에서 주의 단계와 주의에서 경보로 가는 적극성은 서로 다를 것으로 판단되어 이에 대해 TAGR을 제시하여 분석하였다.

Table 4에 따라 기상가뭄(Meteorological Drought)의 1-Mon Forecast의 정상(Normal) 단계일 때, 주의(Caution) 단계의 예측과 실측의 TAGR은 0.12이다. 당월에 정상(Normal) 단계의 예보가 발령되었고 다음달에 주의(Caution) 단계로 변경될 것이라고 예측한 횟수가 실제 대비 12%만 발령된 경우이다.

이는 정상에서 주의로 가능 경보를 보수적으로 발령하고 있다는 것을 알 수 있으며, 이는 경보를 바로 발령하는 적극성 비율인 AGR (2)의 0.16보다도 낮아 정상 단계에서 주의로 발령하는 적극성이 상당히 낮은 것을 확인할 수 있다.

또한, Table 4에서 3-Mon Forecast의 주의(Caution) 단계일 때, 정상(Normal) 단계의 예측과 실측의 TAGR은 3.31이다. 당월에 주의(Caution) 단계의 예보가 발령되었을 때 다음달에 정상(Normal) 단계로 변경될 것이라고 예측한 횟수가 331%로 상당히 큰 것을 알 수 있다. 이는 실제로 상황이 나아지지 않았는데도 가뭄 예보 단계를 낮게 발령하여 나아질 것이라고 판단한 경우로 가뭄을 과소 추정했다고 볼 수 있다. 예측 값 또는 실측 값의 횟수가 적어 판별이 어려운

경우에는 NA로 나타났다.

5. 요약 및 결론

가뭄을 발령하는 기관에서의 다양한 상황들로 인해 가뭄 예보를 발령하는데 소극적일 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 실제 어느 정도의 적극성을 가지고 가뭄예보가 발령되는지 분석이 예상되어 이에 대한 지수를 개발하고 최근의 가뭄 예보(2021.01~2023.04)를 대상으로 가뭄 예보 단계에 따라 분석을 진행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 가뭄 예보의 적극성을 나타내기 위한 지표로서 가뭄 예보 적극성율(Alarm Grit Ratio, AGR)을 개발하였고 최근의 가뭄 현황을 분석한 결과, 기상 가뭄(Meteorological Drought)과 농업 가뭄(Agricultural Drought)에 대한 가뭄 예보 발령이 실제발령보다 적어 보수적인 발령이 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다. 이에 반해, 생활 및 공업용수 가뭄(Residential & Industrial Drought)의 경우 실제 발령에 근접한 횟수로 발령이 이루어져 적극성이 비교적 높은 비율을 나타냈다. 이는 생활 및 공업용수의 부족 시 발생하는 사회적인 영향이 지대하고 경보에 민감한 상황이 되어 경보발령에 대한 적극성이 높은 것으로 유추된다.

둘째, 가뭄예보가 변화되는 상황에 대한 판단을 위해 가뭄 전이 예보 적극성율(Transitional Alarm Grit Ratio, TAGR) 또한 개발하였다. 이를 최근 가뭄 현황에 적용하여 분석한 결과, 기상 가뭄(Meteorological Drought)과 농업 가뭄(Agricultural Drought)에 대한 가뭄 예보 발령이 상당히 보수적으로 이루어지고 있는 것으로 분석되었다. 또한, 생활 및 공업용수 가뭄(Residential & Industrial Drought)은 AGR과 마찬가지로 가뭄 예보에 대한 적극성율이 크게 나타났다.

본 연구 진행 시, 지역별 AGR 산정도 시도하였으나 실제 가뭄을 예보한 자료의 개수에 한계가 있어 유의미한 통계치를 얻기에는 한계가 있었다. 실제 가뭄 예경보를 실시한

Table 4. Transitional Alarm Grit Ratio (TAGR)

		1-Mon Forecast			3-Mon Forecast		
		Normal	Warning	Caution	Normal	Warning	Caution
Meteorological Drought	Normal	1.08	0.51	0.12	1.10	0.29	0.02
	Warning	1.34	0.87	0.52	2.04	0.30	0.30
	Caution	1.44	1.39	0.47	3.31	0.22	0.22
Agricultural Drought	Normal	1.01	0.04	0.00	1.00	0.71	0.64
	Warning	0.32	2.03	0.33	1.59	0.47	0.33
	Caution	0.00	1.25	3.00	1.55	0.75	0.20
Residential & Industrial Drought	Normal	1.00	0.93	1.38	0.99	0.73	2.79
	Warning	0.86	NA	0.76	1.28	NA	0.67
	Caution	0.06	NA	1.97	0.76	NA	1.11

연도 또한 제한이 있어 지역별 심층분석은 향후 실제 가뭄 예경보 자료의 기간이 축적이 된다면 시도할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 예보와 실제 예경보의 정확성 연구는 기관별로 민감한 상황이 발생할 수 있으며, 일반적인 정확도 분석의 경우 다양한 통계치를 통하여 이미 연구되어져 있어, 본 연구 범위에 포함시키지 않았다.

본 연구는 기상 가뭄, 농업 가뭄, 생활 및 공업 가뭄에 대한 가뭄 예보 횟수와 실제 가뭄 발령에 대해서 지수를 이용하여 가뭄 예보 적극성을 분석하였고, 기상 가뭄 및 농업 가뭄이 상대적으로 소극적인 발령이 이루어지고 있음을 제시하였다. 이러한 소극적인 가뭄 예보는 실제 가뭄 상황에 대한 대비가 미리 이루어지지 못하게 되어 향후 기후 변화 등으로 가뭄의 심각성이 더해지는 상황에서 다양한 문제를 야기할 가능성이 많을 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서 제시된 가뭄 예보 적극성을 지속적으로 분석하여 현재 가뭄예보의 적극성이 적절하게 유지되도록 하는 방향이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

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

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2023R1A2C1003850).

References

- Bae, D.H., and Son, G.H. (2012). Current state and development direction of domestic drought forecasts. *Korea Water Resources Association*, Vol. 50, No. 3, pp. 217-225.
- Bae, D.H., Son, K.H., and Kim, H.A. (2013). Derivation & evaluation of drought threshold level considering hydro-meteorological data on South Korea. *J. Korea Water Resources Association*, Vol. 46, No. 3, pp. 287-299.
- Buchanan-Smith, M. (2000). Role of early warning systems in decision making processes. *2000 World Meteorological Organization*, TD, No. 1037, pp. 22-31.
- Choi, J.R., Yoon, H.C., Won, C.H., Lee, B.H., and Kim, B.S. (2021). A study on the estimation and evaluation of ungauged reservoir inflow for local government's agricultural drought forecasting and warning. *J. Korea Water Resources Association*, Vol. 54, No. 6, pp. 395-405.
- Gwak, Y.S., Cho, J.P., Jung, I.G., Kim, D.W., and Jang, S.M. (2018). Projection of future changes in drought characteristics in Korea peninsula using effective drought index. *Journal of Climate Change Research*, Vol. 9, No. 1, pp. 31-45.
- Heckerling, P.S. (2002). Parametric receiver operating characteristic curve analysis using mathematica. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol. 69, No. 1, pp. 65-73.
- Jeong, M.S., Kim, J.S., Jang, H.W., and Lee, J.H. (2016). ROC evaluation for MLP ANN drought forecasting model. *J. Korea Water Resources Association*, Vol. 49, No. 10, pp. 877-885.
- Kim, B.S., Sung, J.H., Lee, B.H., and Kim, D.J. (2013). Evaluation on the impact of extreme droughts in South Korea using the SPEI and RCP8.5 climate change scenario. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 13, No. 2, pp. 97-109.
- Kim, G.S., and Lee, J.W. (2011). Evaluation on drought indices using the drought Records. *J. Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 8, pp. 639-652.
- Lee, C.W., Moon, G.H., Hong, S.J., and Yoo, D.G. (2021). Analysis of spatio-temporal spread of mega-drought: Setting forecast and warning criteria. *J. Korean Soc Hazard Mitig.*, Vol. 21, No. 5, pp. 99-106.
- Lee, D.R., Lee, D.H., and Kang, S.U. (2003). Drought triggers and monitoring system. *Korea Water Resources Association*, Vol. 36, No. 3, pp. 375-384.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1995). Drought monitoring with multiple time scales preprints. *American Meteorological Society*, Vol. 6, No. 15-20, pp. 233-236.
- Murphy, A.H. (1993). What is a good forecast? An essay on the nature of goodness in weather forecasting. *American Meteorological Society*, Vol. 8, pp. 281-293.
- Park, K.W., Kim, J.T., and Lee, J.N. (2006). Evaluation of the drought indicator for regional drought assessment. *Korea Water Resources Association Conference 2006*, pp. 214-220.
- Seo, S.S., Kim, D.K., Lee, K.H., Kim, H.S., and Kim, T.W. (2009). Estimation of drought damage based on agricultural and domestic water use. *Korean Wetlands Society*, Vol. 11, No. 2, pp. 77-87.
- So, J.M., Oh, T.S., and Bae, D.H. (2017). Estimation and assessment of long-term drought outlook information using the long-term forecasting data. *J. Korea Water Resources Association*, Vol. 50, No. 10, pp. 691-701.
- Trenberth, K.E., Overpeck, J., and Solomon, S. (2004). Exploring drought and its implications for the future.

Eos, Vol. 85, No. 3, pp. 27.

- White, D.A., Sivakumar, M.V.K., and Wood, D.A. (2000). Early warning systems for drought preparedness and drought management. *2000 World Meteorological Organization*, TD, No. 1037, pp. 1-21.
- Yi, J.E., and Kim, Y.A. (2004). Reservoir operation by drought forecasting and warning. *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 37, No. 10, pp. 837-844.

<i>Received</i>	■	June 7, 2023
<i>Revised</i>	■	June 7, 2023
<i>Accepted</i>	■	July 18, 2023