

지역적 가뭄역량평가를 위한 복원력 분석에 관한 연구

A Study on Resilience Analysis for Regional Drought Capacity Evaluation in South Korea

이찬욱* · 홍성진** · 문기훈*** · 유도근****

Lee, Chan Wook*, Hong, Sungjin**, Moon, Gihoon***, and Yoo, Do Guen****

Abstract

Increasing climate change is causing complex and diverse natural disasters that have never been experienced before. Recently, research and practical applications of the concept of resilience at the management level for these disasters have been presented. Drought is one of the disasters that lasts for a long time and takes a considerable amount of time for recovery, and resilience evaluations reflecting regional characteristics are needed. In this study, we aim to present the applicability of the resilience concept that reflects regional characteristics (whether or not drought has been experienced in the past) in droughts. To this end, 18 qualitative and quantitative indicators for the evaluation of drought resilience were proposed by judging overseas cases, data status, and domestic applicability. A methodology for calculating the proposed indicators through quantitative data analysis and surveys was presented, and detailed drought resilience evaluations were conducted based on two regions in Korea (Chungcheongnam-do and Chungcheongbuk-do). Through the resilience evaluation using this methodology, the drought response capacity of each local government could be comprehensively evaluated from various perspectives, and each determined factors for improving drought resilience. If a nationwide evaluation is conducted in the future based on these results, locally appropriate guidelines related to drought response and recovery can be established.

Key words : Drought, Evaluation of Resilience, Regional Drought Capacity Evaluation

요 지

점차 심화되는 기후변화로 인해 이전에는 겪어보지 못한 복합적이고 다양한 자연재해가 발생하고 있다. 최근에는 이러한 재해에 대한 관리 차원에서의 복원력(resilience) 개념에 대한 연구와 실제적인 적용 사례가 제시되고 있다. 특히, 가뭄은 장기간 지속되고 복구에도 상당한 시간이 소요되는 재해중 하나로 지역적 특성을 반영한 복원력 평가가 필요하다. 본 연구에서는 가뭄재해에 있어서 지역적 특성(과거 가뭄경험 여부 등)을 반영한 복원력 개념의 적용가능성을 제시하였다. 이를 위해 가뭄 복원력 평가를 위한 정성적, 정량적 지표를 국외사례, 자료현황, 국내 적용가능성 등을 판단하여 18가지로 제안하였다. 제안된 지표를 정량적 자료 분석과 설문조사를 통해 산출하는 방법론을 제시하고, 국내의 두 지역(충청남도, 충청북도)을 기준으로 지표별로 세부적인 가뭄 복원력 평가를 수행하였다. 제안된 방법론에 의한 복원력 평가 결과, 지자체 별 가뭄대응역량을 다양한 관점에서 종합적으로 평가할 수 있었으며, 지자체별로 가뭄 발생시 복원력 향상을 위한 요소를 판단할 수 있었다. 본 연구 결과를 토대로 전국적인 평가가 향후 수행된다면, 가뭄재해와 관련하여 지역적으로 적합한 대응 및 복구관련 가이드라인 수립이 가능할 것으로 기대된다.

핵심용어 : 가뭄, 복원력 평가, 지역역량평가

*정회원, 수원대학교 토목공학과 연구원(E-mail: skyblue985@naver.com)

Member, Researcher, Department of Civil Engineering, The University of Suwon

**정회원, 수원대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: yd1163124@naver.com)

Member, Master's Course, Department of Civil Engineering, The University of Suwon

***수원대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: godurum3@naver.com)

Master's Course, Department of Civil Engineering, The University of Suwon

****교신저자, 정회원, 수원대학교 토목공학과 조교수(Tel: +82-31-229-8676, Fax: +82-31-220-2522, E-mail: dgyoo411@suwon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, The University of Suwon

1. 서론

가뭄은 일반적으로 비정상적으로 낮은 강수 기간에 의해 발생하는 자연재해로 정의된다(Rey et al., 2017). 이러한 가뭄이 지속되고 극심해지면 사회, 환경, 경제에 극단적인 영향을 미치는 복합적인 자연재해로 발달하게 된다(Kogan, 1997; Karamouz, Zeynolabedin et al., 2016). 가뭄이 기상학, 수문학, 농업학, 사회경제학의 네 가지 범주로 구분(Wilhite and Glantz, 1985)되는 것처럼 가뭄은 사회 전반에 큰 피해를 미치며 생활 깊숙이 영향을 미치고 있다. 네 가지 범주와 관련하여 파머가뭄지수(Palmer Drought Severity Index, PDSI; Palmer, 1965), 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI; Mckee et al., 1993), 하천수가뭄지수(Streamflow Drought Index, SDI; Nalbantis, 2008), 지표수공급지수(Surface Water Supply Index, SWSI; Shafer and Dezman, 1982), 수정지표수 공급지수(Modified Surface Water Supply Index, MSWSI; Kwon and Kim, 2006), 그리고 토양수분지수(Soil Moisture Index, SMI; Dyer and Baier, 1979) 등이 개발되고 가뭄을 평가하는데 사용되고 있다. 이러한 모든 지표는 모두 가뭄의 개별적 특성에 맞는 장단점을 가지고 있다. 이처럼, 가뭄에 의한 다양한 영향을 특정 지표를 토대로 평가하기에는 한계가 있을 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Karamouz et al. (2009), Balint et al. (2013), Al-Bakri et al. (2019), Park et al. (2019) 등은 기상, 농업 등 네 가지 범주를 조합하여 평가하는 혼합지수를 제시한 바 있다.

가뭄지수가 현재 시스템이 처해있는 상황을 설명한다면 가뭄 복원력은 현재 시스템이 버틸 수 있는 정도, 그리고 해결을 위해 소요되는 에너지로 설명될 수 있다. 복원력은 가뭄뿐만 아니라 자연재해의 대응, 대책수립 등과 관련하여 중요한 개념으로 자리매김 되고 있다(Klein et al., 2003). 자연재해를 관리하는 관점에서의 복원력은 재해 발생 이전 상태로 복구할 수 있는 가능성을 보여주는 지표중 하나이다(Karamouz, Zeynolabedin et al., 2016). 가뭄재해 측면에서, 지진, 홍수와 같은 타 자연재해에 비해 지속기간과 심도를 쉽게 예측할 수 없다는 점에서 가뭄 복원력이란 가뭄이 발생한 지역이 얼마나 장기적으로 버티고, 회복하고, 활용할 수 있는지에 대한 능력을 의미할 수 있다. 즉, 기존에 제시된 취약성과는 다르게 재해 발생의 전후 단계 전체에서 시스템의 회복을 더 빠르게 혹은 안정적으로 복구할 수 있는지를 의미한다.

자연재해에 있어서 복원력의 개념은 Bruneau et al. (2003)에 의해 1차적으로 정립된 바 있으며 이후, 다양한 분야에 적용되고 있다. Bruneau et al. (2003)은 복원력을 내구성, 자원동원력, 신속성, 대체성(4Rs)으로 구분하여 평가하는 방법을 제안하였다. 본 연구와 직접적으로 관련되는 가뭄 복원력에 관한 선행연구로, Karamouz, Zeynolabedin et al. (2016)은 4Rs를 토대로 가뭄 복원력 지표로 환산하여 East

Azerbaijan 지역에 적용하여 결과를 평가한 바 있다. Khatibi et al. (2019)은 가뭄에 대한 국가, 정부, 지역관점의 커뮤니티 복원력(Community Resilience)을 평가하고 강화하기 위한 프레임워크에 대한 연구를 수행한 바 있다. 본 연구에서는 첫 번째로 우리나라에 적합한 가뭄 복원력 지표를 정성, 정량적 항목으로 구분하여 제안하고자 하였다. 두 번째로 제안된 지표를 활용하여 우리나라 지자체에 적용하여 복원력 평가를 수행하고자 하였다. 마지막으로 복원력 평가 결과를 기반으로 지역적 상이성을 고려한 가이드라인 수립 등의 활용방안을 제시하고자 한다.

2. 가뭄 복원력 평가 방안

2.1 복원력 평가 방법론

본 연구에서 제안하고자 하는 지역적 가뭄 특성에 의한 복원력 평가 절차는 Fig. 1과 같다. 우선, 국내의 지역적 특성을 반영하기 위한 지표를 결정한다. 다음으로, 해당 지표에 대한 적정성을 평가하고 최종적으로 지역적 가뭄 복원력 평가를 위한 지표를 결정한다. 지표가 확정되면 해당하는 지표를 점수로서 환산할 수 있는 정량적, 혹은 정성적인 세부 지표를 구축한다. 예를 들어, RO1의 경우 지역 수자원 이용 가능량을 의미하나 정량적인 점수 구축을 위해서는 여러 가지 자료를 필요로 한다. 본 연구에서는 이러한 RO1, RO2 등의 지표에 대해 세부적인 지표(상수도 보급률, GRDP 등)로 환산하고자 하였다. 이때, 수치적으로 확보 할 수 있는 자료가 아닌 인터뷰, 설문조사 등에 의해 확보 될 수 있는 항목과 같은 경우 정성적인 방법(해당지역 재해 담당 공무원

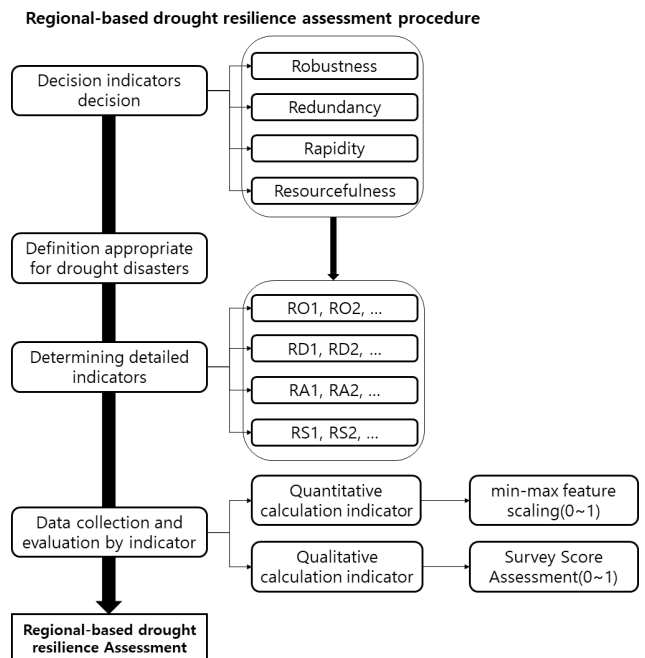


Fig. 1. Regional Based Drought Resiliency Evaluation Procedure

설문조사, 인터뷰)을 통해 점수평가를 수행하고자 하였다. 정량적, 정성적 평가 결과는 0~1사이의 값으로 정규화 하여 환산한다. 마지막으로, 평가된 정량, 정성적지표에 대한 합산을 통해 최종적인 지역기반의 가뭄 복원력 평가결과를 도출하고, 그 결과를 분석하게 된다.

2.2 가뭄 복원력 지표

자연재해에 복원력 개념을 도입하고 정리한 Bruneau et al. (2003)은 복원력을 4가지(내구성, 대체성, 신속성, 자원동원력, 4Rs)로 구분한 바 있다. Karamouz, Rasoulnia, et al. (2016), Karamouz, Zeynolabedin et al. (2016), Karamouz et al. (2018)은 지진과 홍수 재해에 적용된 복원력 지표를 활용하여 가뭄에 적합한 지표로 변환하여 지역기반의 복원력과 취약도를 평가하였다. 본 연구에서는 강건성 또는 내구성(Robustness)은 시스템이 초기 안정 상태를 변경하지 않고 주어진 수준의 건조 상태를 견뎌내는 본질적인 기능(기본 가용 수자원량, 지리적, 전략적 위치)으로 정의하고 Table 1과 같이 5개의 지표를 구축하였다. 대체성(Redundancy)은 일부 지역 또는 기타 지역에서 가뭄재해가 발생했을 때 사용할 수 있는 추가적인 자원으로 정의하고 가뭄시 활용 가능한 용수, 정책적인 관점에서의 활용여부 등의 5가지 지표를 구축하였다.

자원동원력(Resourcefulness)은 재해 발생시 자원을 동원하고 필요한 업무의 우선순위를 정하고 긴급 대응을 제공하고 법적 및 운영상의 조항을 효과적으로 수행 할 수 있는 시스템의 역량(관계 당국의 관리 기술에 크게 의존)을 의미하므로, 본 연구에서는 가뭄 대비 자원적인 측면에서의 5가지 지표를 구축하였다. 마지막으로 신속성(Rapidity)은 기본 요구를 제공하고 전체 복구를 계획하기 위해 적시에 저하를

방지하는 시스템 용량의 척도로서 지역인구, 대중 인식 수준의 3가지 지표를 활용하고자 한다. 결과적으로 총 18개의 복원력 지표가 구축되었으며, Table 1에 제시된 것과 같다. 우선, 내구성에 대한 인자는 지역의 수자원 이용가능량과 연평균 강수량 및 변동성과 같은 기본적인 수문학적인 인자와 지역평균 물 소비량과 경제적 취약성과 같은 물소비 및 사회적 관련 지표로 구성되고, 지역적 이력을 반영하기 위하여 역사적 가뭄경험 여부 및 적응수준인자가 추가되었다. 대체성의 경우 주변 지역의 수자원 활용가능여부, 지하수 가용성, 농업용수 사용방법 등과 같이 대체수원의 능력을 평가할 수 있는 인자로 구성되며, 지자체가 가지고 있는 물할당 및 저수지 운영정책의 존재여부가 추가되었다.

자원동원력에 대한 인자는 가뭄에 대비하는 예산투입 및 예경보시스템의 운영정도, 취약성에 대한 사전평가여부로 구성되며, 가뭄시 대응할 수 있는 대책의 구체성과 조직운영 방안마련 여부로 구성된다. 신속성은 우선 가뭄에 의한 피해를 입을 수 있는 인구 및 취약인구와 가뭄에 대한 인신수준과 사전훈련여부로 평가된다.

2.2.1 정량적 가뭄 복원력 지표

결정된 18개의 가뭄 복원력 지표는 국가정보포털, 관련기관 등에서 제시되고 있는 자료를 통해 확보 가능하다. 다만, RS5 (가뭄시 조직운영 방안의 구체성) 등과 같은 가뭄 복원력 지표는 별도의 정량적인 자료로 산정될 수 없다. 본 연구에서는 이와 같은 구분을 위해 구축된 18개의 지표를 산정할 수 있는 세부방안에 대한 수립을 우선적으로 수행하였다. 각 세부지표 도출방법을 구체화한 결과 Tables 2~5와 같이 정량적으로 도출 가능한 세부지표 수립이 가능하였다. 정량적으로 도출이 가능하다고 판단된 지표는 9가지로 RO1~5,

Table 1. Indicators for Quantifying Drought Resilience in Local Governments

Robustness (RO)	Redundancy (RD)	Resourcefulness (RS)	Rapidity (RA)
RO1: Available Regional Water Resources	RD1: Availability of Water Resources in Surrounding Areas	RS1: Specificity of Drought Comprehensive Measures	RA1: A Local Population
RO2: Regional Economic Vulnerability	RD2: Groundwater Resource Availability	RS2: Degree of budgeting for water resource (drought) disasters	RA2: Virtual Drought Training Status and Specificity
RO3: Average Annual Precipitation and Variability in the Region	RD3: The Way to Use Agricultural Water	RS3: Drought Prediction and Alarm System Availability and Utilization	RA3: Public Awareness and Understanding of the Concept of Drought
RO4: Historical Drought Experience and Regional Adaptation Levels for Drought	RD4: Presence of Water Allocation Priorities for Drought	RS4: Drought Vulnerability Map Existence and Utilization	-
RO5: Regional Average Water Consumption	RD5: Presence of Reservoir Operation Policy During Drought	RS5: Specificity of Organizational Management in Drought	-

RD2~3, RS2 그리고, RA1지표로 18개의 세부지표를 통해 도출가능하다. 가장 먼저, 내구성의 경우 결정된 5가지 지표 모두 Table 2와 같이 정량적으로 도출될 수 있는 것으로 나타났으며, RO1 (지역 수자원 이용가능량)은 지역적 특성이 반영될 수 있는 수자원의 활용, 이용가능량을 대표할 수 있는 상수도 보급률, 해당 지자체의 저수지용량, 그리고 지역관정 보급 총량으로 결정하였다. 이외에도 RO2~5 지표

역시 지역적인 특성을 반영 할 수 있는 지역내 총생산 지역의 연평균 강수량 등의 세부지표를 설정하였다. 대체성의 경우 정량적인 지표로 환산 가능한 지표는 Table 3과 같이 RD2~3으로 지역적 특성이 반영 될 수 있는 세부지표를 선정하였다.

이외에도 자원동원력, 신속성에 있어서는 각각 한 개의 지표가 Tables 4~5와 같이 정량적인 지표로 환산이 가능하였다. 모든 정량적 지표는 지표 1개를 기준으로 1점이 되도록

Table 2. Quantitative Robustness Indicators for Quantifying Drought Resiliency in Local Governments

Item	Indicator	Sub-indicator	Calculation data
Robustness, RO	[RO1] Available Regional Water Resources	Water supply rate (representing the percentage of the total population receiving tap water)	Utilize water supply (%) data
		Regional reservoir capacity (total reservoir capacity in the region)	Utilize local reservoir capacity (m^3) data
		Total amount of local tube-well information (use of groundwater irrigation in the region)	Use the total amount of local government information data (annual usage)
	[R02] Regional Economic Vulnerability	Financial self-reliance (tax analysis indicators indicating the ability to self-provision financial income)	Use fiscal self-reliance (%) data
		Gross regional product (GRDP, production by unit, consumption, prices, etc.)	Use Gross regional product (GRDP)
	[R03] Average Annual Precipitation and Variability of the Region (Coefficient of Variation)	The average annual precipitation in the region	Utilization of annual precipitation data (local distribution based on observatory)
		Variation of regional annual precipitation (coefficient of variation)	Coefficient of variation based on annual average precipitation data
	[R04] Historical drought experience and local adaptation to drought levels	Meteorological: SPI6 standard (number of days) the number of past severe drought anomalies	Calculation and utilization of the number of SPI6 drought standards (SPI6<2.0) that lasted more than 30 days
		Agricultural: Number of occurrences of severe drought in the past based on SMI	Calculation and utilization of the number of heavy SMI droughts (15% or less) occurred
		Water for living: Past number of water-outage, intermittent water supply	Utilization of past number of water-outage, intermittent water supply
	[R05] Regional average water consumption	the amount of water used per person	Leverage annual usage data
		Amount of industrial water used per person	
		Amount of agricultural water used per person	

Table 3. Quantitative Redundancy Indicators for Quantifying Drought Resiliency in Local Governments

Item	Indicator	Sub-indicator	Calculation data
Redundancy, RD	[RD2] Groundwater resource availability	Total amount of local tube well - use of groundwater irrigation in the region	The amount of planned tube well water intake
		The ratio of irrigated paddy - paddies supplied with water by irrigation facilities such as reservoirs, waterworks, reservoirs, and groundwater pipes	The ratio of irrigated paddy
	[RD3] Agricultural water use method (irrigation status, etc.: ratio of field irrigation)	Percentage of field irrigation - fields supplied by agricultural water supply facilities	Percentage of field irrigation

하기 위하여 Eq. (1)의 정규화 방법을 활용하였다. 여기서, 한가지의 지표의 세부지표가 3개라면 각각의 가중치를 3등분으로 배분하여 1점이 되며 최종적인 정량지표의 전체 합산 점수는 9점이 된다. 여기서, X는 정량적 세부지표의 값을 의미한다.

$$\frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

2.2.2 정성적 가뭄 복원력 지표

앞서 제시된 정량적 가뭄 복원력 지표를 제외하고 국가포털, 지자체 자료 등 통해 확보가 불가능한 정성적인 가뭄 복원력 지표는 Table 6과 같다. 본 연구에서는 이러한 정성적 가뭄 복원력지표의 평가를 위해 해당 지자체의 가뭄 재해와 관련한 업무를 진행하고 있는 공무원에게 설문조사를 수행하여 점수평가를 수행하고자 하였다. 이를 위해 결정된 정성적 지표 9개에 대하여 설문조사를 수행하였다. 설문조사서

는 담당공무원의 개인적인 판단을 최대한 줄이고 객관적인 답변을 받기 위하여 가뭄 복원력에 대한 지표별 세부사항에 관련한 충분한 설명을 하였다.

이후, 해당 지자체의 가뭄 복원력 평가를 위한 각 정성적 지표 9개에 대하여 5가지 문항으로 구성된 설문조사를 수행하였다. 결과적으로, 최하 0점에서 최대 5점으로 평가를 요청하였으며 이를 0~1점 사이의 점수로 환산하여 지표별로 1점이 도출되어 정성적인 복원력 평가의 점수 결과는 9점이 나오도록 하였다.

본 연구에서는 현재까지 국내에 적용된 바 없는 가뭄 복원력 지표를 제안하고 그 결과를 분석하고 그 결과와 활용방안을 제시하는 것이 우선적인 목표이므로, 앞서 산정된 정량적, 정성적 가뭄 복원력 지표는 별도의 가중치를 부여하지 않았으며 향후 정성적 지표에 대한 심도 깊은 인터뷰와 가중치 설정이 필요하다.

Table 4. Quantitative Resourcefulness Indicators for Quantifying Drought Resiliency in Local Governments

Item	Indicator	Sub-indicator	Calculation data
Resourcefulness, RS	[RS2] Degree of budgeting for water resource (drought) disasters	Ratio of local taxes among past disaster management-related expenditures	Use local tax rate (%) data
		Percentage of self-recovery expenses in case of natural disasters	Utilize recovery cost ratio (%)

Table 5. Quantitative Rapidity Indicators for Quantifying Drought Resiliency in Local Governments

Item	Indicator	Sub-indicator	Calculation data
Rapidity, RA	[RA1] A local population	Population count by administrative district (city)	Use the population by city and county
		Percentage of vulnerable class by administrative district (city)	Ratio of 63 years of age or older by city and county

Table 6. Qualitative Indicators for Quantifying Drought Resilience in Local Governments

Item	Indicator
Robustness, RO	-
Redundancy, RD	RD1: Availability of water resources in surrounding areas
	RD4: Presence of water allocation priorities for drought
	RD5: Presence of reservoir operation policy during drought
Resourcefulness, RS	RS1: Specified degree of drought comprehensive measures
	RS3: Drought prediction and alarm system availability and utilization
	RS4: Drought vulnerability map existence and utilization
	RS5: Specified degree of organizational management in drought
Rapidity, RA	RA2: Virtual drought training status and specificity
	RA3: Public awareness and understanding of the concept of drought

3. 적용 및 결과

3.1 적용대상지역

본 연구는 우리나라의 지역적 특성을 반영한 가뭄 복원력을 정량화하는 기법을 제안하는 것을 목적으로 하고 있다. 따라서, 제안된 지표에 의한 평가를 수행하기 위해 2014-2015년에 극심한 가뭄이 발생한 바 있던 대한민국 충청남도 지역과 비교적 가뭄에 있어 큰 영향을 받지 않았던 충청북도 지역을 대상지역으로 선정하였다. 대한민국에서 각각의 해당하는 위치는 Fig. 2와 같다. 충청남도는 8개의 시와 7개의 군으로 구성되어 있으며 8,245 km²의 면적을 차지하고 있는 지역이다 (Fig. 2). 충청북도의 경우 3개의 시와 8개의 군으로 구성되어 있으면서 7,406 km²의 면적을 차지하고 있다(Fig. 2).

앞서 밝혔듯 충청남도의 경우 2014년부터 시작된 극심한 가뭄에 의해 용수를 조달받아 활용되는 등 가뭄에 의한 영향을 비교적 크게 받은 지역이며 충청북도의 경우 비교적 가뭄의 영향을 덜 받은 지역이다. 따라서, 정성적 평가에 의한 결과를 과거 가뭄 이력이 있는 지자체와 그렇지 않은 지자체에 대한 비교가 가능할 것으로 판단하여 두 지역을 선택하였다.

3.2 가뭄 복원력 정량적 지표

제안된 가뭄 복원력 지표중 정량적인 자료로 확보 가능한 지표는 9개로 표와 같이 18개의 세부지표로 구성되어 있으며 자료의 출처는 Table 7과 같다. 확보된 자료별 시점은 2018년부터 2020년까지로 다양하다. 최신의 복원력 개념을 적용하기 위하여 자료별로 가장 최신의 자료를 활용하고자 하였다.

3.2.1 가뭄 복원력 정량적 지표 평가(충청남도)

가뭄 복원력 평가 결과는 Table 8에 제시되어 있으며, 천안시, 공주시 순으로 복원력 평가 결과가 높게 도출된 것으로 나타났다. 내구성(RO) 부분에서 가장 높은 평가 결과가 도출된 지자체는 아산시로 특히 RO2 (지역의 경제적 취약성) 부분에서 월등한 것으로 나타났다. 이는 타 지자체에 비해 아산시가 차지하는 재정자립도 및 GRDP가 높은 것을 의미하며 시스템이 초기 안정 상태를 변경하지 않고 주어진 수준의 건조 상태를 견뎌낼 수 있는 능력이 있다고 판단될 수 있다. 반면에 청양군 같은 경우 RO2 부분에서 매우 낮게 산출되었다. 그럼에도 불구하고 RO1 (지역 수자원 이용가능량)과 더불어 RO5 (지역 평균 물 소비량) 부분에서 타 지자체에 비해 평균적으로 높은 결과가 도출되었다.

최종적으로 내구성 부분에서는 아산시와 천안시가 전체적으로 평가 결과가 가장 좋은 것으로 나타났으나, RO5 부분에서 타지자체에 비해 물 소비량이 많아짐에 따라 향후 극심한 가뭄이 발생할 경우 타 지자체로부터 물 공급을 대체하는 등의 대책마련이 필요할 것으로 판단된다.

대체성(RD) 부분의 복원력 평가 결과로는 공주시, 부여군

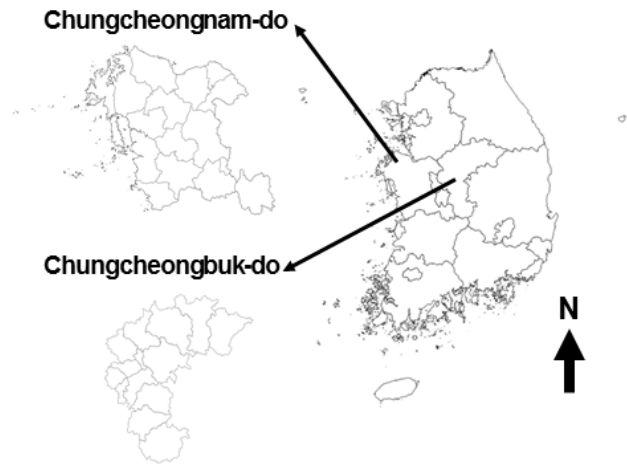


Fig. 2. Areas Subject to Drought Resiliency Evaluation

이 평균적으로 높은 가뭄 복원력 평가결과가 도출되었다. 이는 일부 지역 또는 기타 지역에서 가뭄 재해가 발생했을 때 사용할 수 있는 추가적인 자원이 풍부한 것으로 판단될 수 있다. 당진시의 경우 지역관정보급총량과 논, 밭관개전 비율이 매우 적어 가장 낮은 결과가 도출되어 가뭄 발생시 용수 이용시 문제가 발생할 수 있을 것으로 판단된다.

자원동원력(RS) 및 신속성(RA) 부분에서는 천안시가 가장 높은 복원력 평가가 도출되었다. 이는 타지자체의 경우 취약계층 비율이 비교적 높은 것으로 가뭄이 발생하였을 때 활용될 수 있는 인력이 많아 비교적 신속히 가뭄에 대처할 수 있음을 의미한다. 반면에, 부여군, 계룡시와 같은 신속성이 낮은 지자체의 경우 가뭄에 대처할 수 있는 인구가 비교적 적은 것으로 나타났다.

종합적으로 천안시, 공주시 순으로 정량적 가뭄 복원력 평가 결과가 높게 나타났다. 다만, 천안시의 경우 RO5지표로 인해 가뭄 발생시 사용되고 있는 물 소비량을 대체할 수 있을만한 수원지를 확보할 필요가 있는 것으로 나타났다.

공주시의 경우 전반적으로 가뭄 복원력 평가 결과가 높게 나타났지만 RO2 (지역의 연평균 강수량 및 변동성)지표에서 평균 이하의 결과가 도출되었다. 이는 평소 발생하는 강수량이 적고 변동성이 커짐에 따라 가뭄 발생시에도 해갈을 위한 강수가 내리지 않을 수 있다는 것을 의미한다. 이 또한 대체할 수 있는 수원을 확보할 필요가 있을 것으로 판단된다. 홍성군, 태안군, 계룡시와 같은 경우에는 종합적으로 평가 결과가 낮게 도출되었다. 따라서 가뭄 발생시 빠른 해갈을 위해 물 사용을 위한 대체제를 마련하고 전체적인 내구성을 보강할 필요가 있다.

다만, 본 연구에서 수립된 가뭄 복원력 정량지표의 경우 지자체 구성상 보강이 불가하거나 빠른 시간안에 보강이 쉽지 않다. 따라서, 장기적인 관점에서의 복원력 강화 방안을 마련할 필요가 있을 것으로 사료된다. 다만, 본 연구에서는 두 곳의 도 단위(충청남도, 충청북도)를 기준으로 가뭄 복원

Table 7. Sources of Drought Resilience by Indicators

Indicator	Sub-indicator	Reference data source
RO1: Available Regional Water Resources	Water supply rate (representing the percentage of the total population receiving tap water)	Ministry of Environment (Water supply statistics)
	Regional reservoir capacity (total reservoir capacity in the region)	Water Resources Management Information System (Regional reservoir capacity)
	Total amount of local tube-well information (use of groundwater irrigation in the region)	K-water (tube-well management information)
RO2: Regional Economic Vulnerability	Financial self-reliance (tax analysis indicators indicating the ability to self-provision financial income)	Statistics Korea (General Regional Statistics Department)
	Gross regional product (GRDP, production by unit, consumption, prices, etc.)	
RO3: Average Annual Precipitation and Variability in the Region	The average annual precipitation in the region	Korea Meteorological Administration (average annual precipitation)
	Variation of regional annual precipitation (coefficient of variation)	
RO4: Historical Drought Experience and Regional Adaptation Levels for Drought	SPI6	Hydrologic Weather, Drought Information Analysis System (Drought Index)
	SMI	Agricultural Drought Management System (Drought Index)
	Water for living: Past number of water-outage, intermittent water supply	National Drought Information Portal (Emergency water supply status)
RO5: Regional Average Water Consumption	Amount of living, agricultural and industrial water used	Water Resources Management Information System (Usage of living, agricultural and industrial water)
RD2: Groundwater Resource Availability	Total amount of local tube well - use of groundwater irrigation in the region	K-water (Annual water intake plan)
RD3: The Way to Use Agricultural Water	The ratio of irrigated paddy	Water Resources Management Information System (Cultivated Acreage)
	Percentage of field irrigation	
RS2: Degree of budgeting for water resource (drought) disasters	Ratio of local taxes among past disaster management-related expenditures	The Ministry of the Interior and Safety (MOIS) (Statistical Yearbook of Local Taxes)
	Percentage of self-recovery expenses in case of natural disasters	e-Country Indicators: Public Data Request Required (Natural Disaster Recovery Expenses)
RA1: A Local Population	Population count by administrative district (city)	The Ministry of the Interior and Safety (MOIS) (Resident registered population status)
	Percentage of vulnerable class by administrative district (city)	The Ministry of the Interior and Safety (MOIS) (Resident registered population status)

력을 산출하고 그 결과를 평가하는 방안에 대한 연구를 수행하는 것으로서 전국을 대상으로 평가하고 비교적 부족한 지표에 대한 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

3.2.2 가뭄 복원력 정량적 지표 평가(충청북도)

충청북도의 경우 청주시, 충주시가 전체적으로 모든 지표가 평균적으로 높은 가뭄 복원력 평가 결과가 도출되었다 (Table 9). 다만, RO4 (역사적 가뭄 경험 및 가뭄에 대한

지역 적응 수준)에 있어서는 평균 이하의 결과를 나타내었다. 이는 충청남도 지역에 비해 가뭄 피해가 적었던 것이 원인으로 가뭄 발생시 타 지역에 비해 내구적으로 가뭄을 견뎌내는 데 한계가 있을 수 있다는 것을 의미한다. 특히, 음성군의 경우 가뭄 이력이 거의 없어 가뭄에 대한 인식이 매우 낮을 수 있다. 대체성의 경우 지방도시 특성상 비교적 높은 복원력 평가가 도출 되었다.

그러나, 증평군과 단양군의 경우 발 관개전을 통해 농업용

Table 8. Drought Resilience Quantitative Indicators Evaluation Results (Chungcheongnam-do)

Chungcheongnam do	RO1	RO2	RO3	RO4	RO5	(Sum) RO	RD2	RD3	(Sum) RD	RS2	RA1	(Sum) Total
Cheonan city	0.75	0.79	0.84	0.28	0.13	2.80	0.62	0.61	1.23	0.72	0.55	5.30
Gongju city	0.56	0.19	0.57	0.47	0.90	2.68	0.86	0.71	1.57	0.41	0.24	4.91
Asan city	0.72	1.00	0.37	0.23	0.63	2.96	0.28	0.59	0.87	0.72	0.22	4.77
Seosan city	0.54	0.52	0.22	0.38	0.88	2.55	1.00	0.40	1.40	0.55	0.13	4.63
Buyeo gun	0.34	0.20	0.46	0.42	0.93	2.36	0.68	0.85	1.53	0.29	0.11	4.28
Nonsan city	0.39	0.07	0.25	0.37	0.91	2.00	0.57	0.87	1.44	0.22	0.32	3.97
Boryeong city	0.52	0.16	0.37	0.32	0.92	2.29	0.75	0.46	1.21	0.37	0.04	3.91
Seocheon gun	0.68	0.03	0.49	0.25	0.94	2.39	0.11	0.62	0.73	0.09	0.42	3.62
Yesan gun	0.59	0.06	0.15	0.25	0.91	1.96	0.63	0.53	1.17	0.05	0.37	3.54
Dangjin city	0.55	0.42	0.52	0.17	1.00	2.67	0.20	0.00	0.20	0.41	0.20	3.48
Geumsan gun	0.57	0.10	0.34	0.01	0.94	1.96	0.40	0.51	0.91	0.21	0.39	3.46
Cheongyang gun	0.68	0.03	0.35	0.15	0.97	2.17	0.15	0.62	0.77	0.08	0.44	3.46
Hongseong gun	0.34	0.09	0.48	0.27	0.94	2.13	0.13	0.52	0.65	0.10	0.45	3.34
Taeon gun	0.45	0.10	0.16	0.32	0.95	1.98	0.29	0.49	0.78	0.08	0.41	3.25
Gyeryong city	0.47	0.16	0.12	0.25	0.99	1.99	0.00	0.49	0.49	0.32	0.11	2.91
Aver	0.54	0.26	0.38	0.28	0.86	2.32	0.44	0.55	0.99	0.31	0.29	3.92

Table 9. Drought Resilience Quantitative Indicators Evaluation Results (Chungcheongbuk-do)

Chungcheongbuk do	RO1	RO2	RO3	RO4	RO5	(Sum) RO	RD2	RD3	(Sum) RD	RS2	RA1	(Sum) Total
Cheongju city	0.87	0.80	0.37	0.30	0.50	2.84	0.99	0.61	1.59	0.84	0.56	5.84
Chungju city	0.54	0.27	0.57	0.47	0.89	2.73	0.70	0.79	1.49	0.69	0.45	5.36
Yeongdong gun	0.80	0.06	0.31	0.43	0.96	2.56	0.39	0.99	1.38	0.46	0.50	4.89
Jincheon gun	0.69	0.32	0.35	0.21	0.92	2.50	0.35	0.70	1.04	0.64	0.34	4.52
Okcheon gun	0.45	0.05	0.44	0.37	0.95	2.26	0.66	0.71	1.37	0.47	0.26	4.36
Eumseong gun	0.71	0.40	0.15	0.12	0.90	2.27	0.36	0.81	1.17	0.65	0.23	4.32
Goesan gun	0.45	0.09	0.48	0.55	0.97	2.54	0.41	0.53	0.95	0.44	0.23	4.16
Boeun gun	0.11	0.00	0.22	0.45	0.96	1.76	0.54	0.73	1.27	0.44	0.50	3.97
Jecheon city	0.65	0.16	0.37	0.21	0.91	2.29	0.32	0.59	0.92	0.61	0.10	3.91
Jeungpyeong gun	0.61	0.08	0.28	0.28	0.98	2.22	0.03	0.58	0.61	0.37	0.45	3.65
Danyang gun	0.48	0.11	0.16	0.26	0.97	1.98	0.05	0.57	0.62	0.43	0.34	3.37
Aver	0.58	0.21	0.34	0.33	0.90	2.36	0.44	0.69	1.13	0.55	0.36	4.39

수를 거의 활용하고 있지 않아 향후 가뭄발생시 피해가 비교적 클 수 있을 것으로 판단된다. 자원 동원력의 경우 충청남도 지역의 평균값(0.31)에 비해 0.24가 더 높은 것으로 나타났다. 이는 자연재난 발생시 자체 복구비 투입 비율이 높은 것이 원인으로 가뭄 발생시 충분한 자원으로 극복이 될 수 있을 것으로 판단된다.

신속성의 경우 충청남도 지역의 평균값(0.29)에 비해 0.07 높은 수준으로 비교적 많은 인력과 취약계층이 적은 것이 원인으로 판단된다. 이는 가뭄 발생 시보다 많은 인력이

투자될 수 있는 것을 의미하며 비교적 높은 자원동원력을 기반으로 활용된다면 보다 신속한 해갈이 가능할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 가뭄 복원력 정성적 지표 평가

3.3.1 가뭄 복원력 정성적 지표 평가

본 연구에서 제안된 가뭄 복원력 정성적 지표는 총 9개로 이에 대한 해당 지자체의 담당자(자연재해 관련)에 의해 확보된 결과는 Tables 10, 11과 같다. 전체적인 관점에서

Table 10. Results of Evaluation of Drought Resilience Qualitative Indicators (Chungcheongnam-do)

Chungchungnam do	RD1	RD4	RD5	(Sum) RD	RS1	RS3	RS4	RS5	(Sum) RS	RA2	RA3	(Sum) RA	(Sum) Total
Gongju city	0.80	0.80	0.80	2.40	0.60	0.60	0.80	0.80	2.80	0.80	0.20	1.00	6.20
Nonsan city	0.80	0.80	0.80	2.40	0.60	0.60	0.80	0.80	2.80	0.80	0.20	1.00	6.20
Yesan gun	0.80	1.00	0.60	2.40	0.40	0.40	0.80	0.20	1.80	0.80	1.00	1.80	6.00
Buyeo gun	0.80	0.80	0.60	2.20	0.60	0.60	1.00	0.00	2.20	0.40	0.60	1.00	5.40
Seosan city	0.60	0.80	0.80	2.20	1.00	0.20	0.40	0.20	1.80	0.40	1.00	1.40	5.40
Hongseong gun	0.60	0.80	0.80	2.20	1.00	0.20	0.40	0.20	1.80	0.40	1.00	1.40	5.40
Asan city	0.20	0.80	0.40	1.40	1.00	0.40	0.60	0.40	2.40	0.80	0.20	1.00	4.80
Dangjin city	0.20	0.40	0.80	1.40	0.80	0.20	0.40	0.40	1.80	0.40	0.80	1.20	4.40
Geumsan gun	0.60	0.40	0.60	1.60	0.40	0.00	0.00	0.80	1.20	0.40	0.40	0.80	3.60
Seocheon gun	0.20	0.40	0.80	1.40	0.80	0.20	0.40	0.40	1.80	0.20	0.20	0.40	3.60
Boryeong city	0.00	0.20	0.20	0.40	0.40	0.80	0.60	0.40	2.20	0.40	0.20	0.60	3.20
Gyeryong city	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20	0.20	0.40	0.60	1.40	0.80	0.40	1.20	2.80
Cheonan city	0.20	0.20	0.40	0.80	0.00	0.00	0.40	0.20	0.60	0.20	0.60	0.80	2.20
Cheongyang gun	0.20	0.20	0.40	0.80	0.00	0.00	0.40	0.20	0.60	0.20	0.60	0.80	2.20
Taeon gun	0.00	0.00	0.40	0.40	0.00	0.00	0.20	0.00	0.20	0.60	0.40	1.00	1.60
Aver	0.40	0.51	0.57	1.48	0.52	0.29	0.51	0.37	1.69	0.51	0.52	1.03	4.20

Table 11. Results of Evaluation of Drought Resilience Qualitative Indicators (Chungcheongbuk-do)

Chungchungbuk do	RD1	RD4	RD5	(Sum) RD	RS1	RS3	RS4	RS5	(Sum) RS	RA2	RA3	(Sum) RA	(Sum) Total
Cheongju city	0.20	0.40	0.40	1.00	0.40	0.40	0.80	0.60	2.20	1.00	0.60	1.60	4.80
Danyang gun	0.20	0.20	0.40	0.80	1.00	0.20	0.20	0.40	1.80	1.00	0.20	1.20	3.80
Boeun gun	0.00	0.40	0.40	0.80	0.00	0.80	0.60	0.20	1.60	0.40	0.80	1.20	3.60
Yeongdong gun	0.60	0.40	0.60	1.60	0.40	0.00	0.00	0.80	1.20	0.40	0.40	0.80	3.60
Jeungpyeong gun	0.60	0.40	0.60	1.60	0.40	0.00	0.00	0.80	1.20	0.40	0.40	0.80	3.60
Okcheon gun	0.00	0.40	0.60	1.00	0.60	0.00	0.60	0.00	1.20	0.80	0.40	1.20	3.40
Jecheon city	0.40	0.80	0.20	1.40	0.40	0.80	0.20	0.40	1.80	0.00	0.20	0.20	3.40
Chungju city	0.00	0.40	0.60	1.00	0.60	0.00	0.60	0.00	1.20	0.80	0.40	1.20	3.40
Goesan gun	0.20	0.20	0.00	0.40	0.20	0.60	0.60	0.20	1.60	0.60	0.80	1.40	3.40
Jincheon gun	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.80	0.20	0.40	1.80	0.40	0.20	0.60	2.40
Eumseong gun	0.20	0.20	0.40	0.80	0.00	0.00	0.40	0.20	0.60	0.20	0.60	0.80	2.20
Aver	0.22	0.35	0.38	0.95	0.40	0.33	0.38	0.36	1.47	0.55	0.45	1.00	3.42

충청남도의 정성지표 평가 결과(4.20)가 충청북도의 평가 결과(3.42)보다 높은 것으로 나타났다.

이는 충청남도에서 2014-2015년에 발생한 극심한 가뭄과 더불어 2019년 등 잦은 가뭄 발생이 원인인 것으로 판단된다. 극심한 가뭄을 겪은 지자체의 특성상 향후 발생 가능한 가뭄에 대한 대책 및 가이드라인을 마련하게 되므로 재해 담당공무원의 입장에서 가뭄에 대한 인식이 비교적 높을 수 있다. 다만 정성적인 설문조사에 의해 1명의 담당자에게 요청된 결과이므로 개인적인 의사가 반영될 수 있으므로

향후 정성지표에 대한 가중치 부여가 필요하다.

3.4 가뭄 복원력 종합 평가

충청남도과 충청북도의 가뭄 복원력 평가 결과는 Table 12 및 Fig. 3과 같다. 정량평가 결과를 기준으로 청주시가, 정성평가의 경우 공주시와 논산시가 가장 높은 가뭄 복원력 평가 결과가 도출되었다. 본 연구에서 수행되는 복원력 평가 결과는 어느 지자체의 좋고 나쁨을 의미하는 것이 아닌 현재 시점에서의 가뭄 발생시 효과적인 해갈을 위한 방안

Table 12. Results of a Comprehensive Evaluation of the Drought of Resilience

Province	City name	Quantitative evaluation	Qualitative evaluation	Total	Division
Chungchungnam do	Gongju city	4.91	6.20	11.11	Above average
Chungchungbuk do	Cheongju city	5.84	4.80	10.64	
Chungchungnam do	Nonsan city	3.97	6.20	10.17	
	Seosan city	4.63	5.40	10.03	
	Buyeo gun	4.28	5.40	9.68	
	Asan city	4.77	4.80	9.57	
	Yesan gun	3.54	6.00	9.54	
Chungchungbuk do	Chungju city	5.36	3.40	8.76	
Chungchungnam do	Hongseong gun	3.34	5.40	8.74	
Chungchungbuk do	Yeongdong gun	4.89	3.60	8.49	
Chungchungnam do	Dangjin city	3.48	4.40	7.88	Below average
Chungchungbuk do	Okcheon gun	4.36	3.40	7.76	
	Boeun gun	3.97	3.60	7.57	
	Goesan gun	4.16	3.40	7.56	
Chungchungnam do	Cheonan city	5.3	2.20	7.5	
Chungchungbuk do	Jecheon city	3.91	3.40	7.31	
	Jeungpyeong gun	3.65	3.60	7.25	
Chungchungnam do	Seocheon gun	3.62	3.60	7.22	
Chungchungbuk do	Danyang gun	3.37	3.80	7.17	
Chungchungnam do	Boryeong city	3.91	3.20	7.11	
	Geumsan gun	3.46	3.60	7.06	
Chungchungbuk do	Jincheon gun	4.52	2.40	6.92	
	Eumseong gun	4.32	2.20	6.52	
Chungchungnam do	Gyeryong city	2.91	2.80	5.71	
Chungchungnam do	Cheongyang gun	3.46	2.20	5.66	
	Tae'an gun	3.25	1.60	4.85	
Average		4.12	3.87	7.99	
Standard Deviation		0.73	1.29	1.56	
Coefficient of variation		0.18	0.33	0.20	

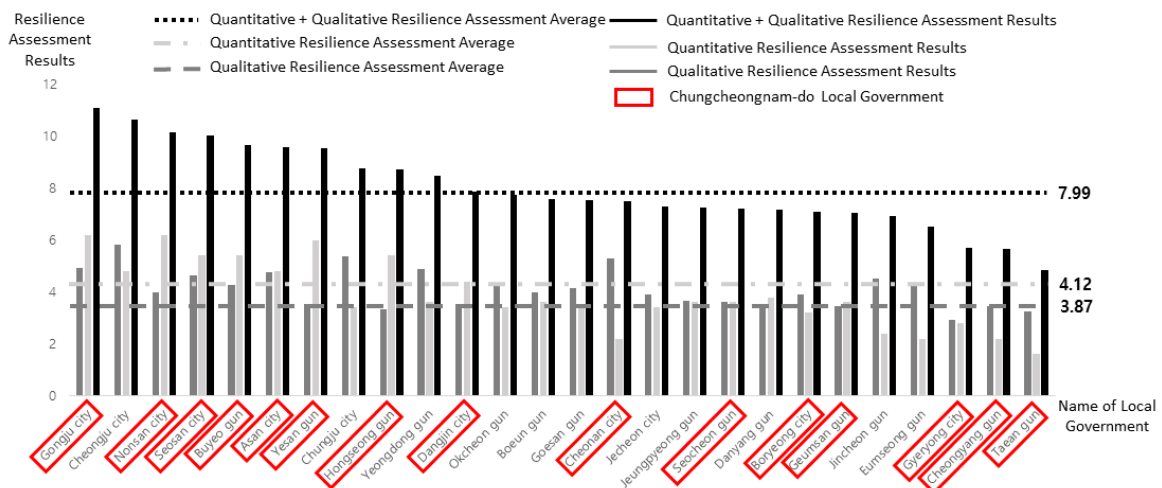


Fig. 3. Results of a Comprehensive Evaluation of the Drought of Resilience

제시가 목적이다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 Table 12와 같이 최종 복원력 평가 결과의 평균 이상인 지자체와 이하인 지자체 두 가지로 구분하여 복원력을 평가하고자 하였다. 복원력이 상위권에 해당하는 지자체는 10개, 그 반대에 해당하는 지자체는 16개로 나타났다. 복원력 상위권에 진입된 지자체는 3곳을 제외하고 모두 충남지역으로 나타났다.

그 원인은 충남지역에 발생한 2014-2015년 가뭄과 더불어 2019년에 발생한 가뭄 등으로 인하여 해당지자체에서 충분한 대응책을 마련하고 더불어 담당 공무원의 가뭄에 대한 이해도가 증대됨에 따라 나타난 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 본 연구에서 제시하고 있는 복원력 평가방법론 및 결과의 합리성을 보여준다고 판단할 수 있다. 반면에 복원력 하위권에는 충청북도에 속한 지자체가 비교적 많이 편입된 것으로 나타났다. 충남지역에 비해 충북지역은 가뭄에 영향을 비교적 적게 받아 가뭄에 대한 인식이 크게 높지 않아 이와 같은 결과가 도출된 것으로 판단된다.

물론, 정성평가 결과의 변동계수(0.33)가 정량평가 결과의 변동계수(0.18)에 비해 큰 것으로 보아 설문조사자의 개인적인 견해에 따라 결과가 매우 상이하게 될 수 있다. 따라서, 향후 가뭄 복원력 평가에 있어서 각 지표에 따른 중요도와 가중치를 부여하여 정량화 하는 방안이 필요할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 최근 복합적인 재해에 대한 대응, 대책 마련을 위하여 수행되고 있는 복원력 개념을 가뭄 재해에 적용하였다. 또한, 문헌분석을 토대로 우리나라에 적합한 지표를 제안하고 충청남도과 충청북도 지역에 대해 가뭄 복원력 평가를 수행하였다. 이를 위해 지표를 정량적 지표와 정성적 지표로 구분하여 평가를 수행하였으며 그 결과에 의해 지자체별로 가뭄에 있어서 보강이 필요한 사항에 대한 분석방안을 제안하였다. 연구 결과를 토대로 지역적인 특성을 활용하여 가뭄에 대한 지자체별 시스템 성능에 대한 평가가 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

지역기반의 복원력 평가의 경우 상대적이므로 비교 지자체에 따라 그 결과는 상이해질 수 있다. 따라서 향후 제안된 가뭄 복원력 지표를 기반으로 전국대상의 평가 및 객관화, 정량화가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 정성적인 평가 역시 설문조사에 의한 점수평가를 기반으로 산정되는 지표라는 한계점이 존재하므로 가중치에 대한 평가가 기반되어야 한다.

향후 앞서 제시된 한계점을 보완하고 전국적인 적용뿐만 아니라 다양한 시나리오(무강우 등)에 적용하고 결과를 평가한다면 가뭄 재해에 있어서 지자체별로 적합한 가이드라인을 마련할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 극한재난대응기반기술개발사업의 연구비 지원(2019-MOIS31-010)에 의해 수행되었습니다.

References

- Al-Bakri, J.T., Alnaimat, M.J., Al-Karablieh, E., and Qaryouti, E.A. (2019). evaluation of combined drought index and mapping of drought vulnerability in Jordan. *Int J Eng Res Appl*, Vol. 9, No. 3, pp. 59-68.
- Balint, Z., Mutua, F., Muchiri, P., and Omuto, C.T. (2013). Monitoring drought with the combined drought index in Kenya. In P. Paron, D.O. Olago, and C.T. Omuto (Eds.), *Developments in earth surface processes* (Vol. 16, pp. 341-356). United Kingdom: Elsevier.
- Bruneau, M., Chang, S.E., Eguchi, R.T., Lee, G.C., O'Rourke, T.D., Reinhorn, A.M., et al. (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake spectra*, Vol. 19, No. 4, pp. 733-752.
- Dyer, J.A., and Baier, W. (1979). An index for soil moisture drying patterns. *Can. Agric. Eng.* Vol. 21, pp. 117-118.
- Karamouz, M., Rasouli, K., and Nazif, S. (2009). Development of a hybrid index for drought prediction: case study. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 14, No. 6, pp. 617-627.
- Karamouz, M., Rasoulnia, E., Olyaei, M.A., and Zahmatkesh, Z. (2018). Prioritizing investments in improving flood resilience and reliability of wastewater treatment infrastructure. *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 24, No. 4, pp. 04018021.
- Karamouz, M., Rasoulnia, E., Zahmatkesh, Z., Olyaei, M. A., and Baghvand, A. (2016). Uncertainty-based flood resiliency evaluation of wastewater treatment plants. *Journal of Hydroinformatics*, Vol. 18, No. 6, pp. 990-1006.
- Karamouz, M., Zeynolabedin, A., and Olyaei, M.A. (2016). Regional drought resiliency and vulnerability. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 21, No. 11, pp. 05016028.
- Khatibi, S.A., Golkarian, A., Mosaedi, A., and Sojasi Qeidari, H. (2019). Assessment of Resilience to Drought of Rural Communities in Iran. *Journal of Social Service Research*, Vol. 45, No. 2, pp. 151-165.
- Klein, A.M., Steffan-Dewenter, I., and Tschamtkke, T. (2003). Fruit set of highland coffee increases with the diversity

- of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, Vol. 270, No. 1518, pp. 955-961.
- Kogan, F.N. (1997). Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 78, No. 4, pp. 621-636.
- Kwon, H.J., and Kim, S.J. (2006). Evaluation of semi-distributed hydrological drought using SWSI (Surface Water Supply Index). *Journal of the Korean society of Agricultural Engineers*, Vol. 48, No. 2, pp. 37-43.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Vol. 17, No. 22, pp. 179-183.
- Nalbantis, I. (2008). Evaluation of a hydrological drought index. *European Water*, Vol. 23, No. 24, pp. 67-77.
- Palmer, W.C. (1965). *Meteorological drought (Vol. 30)*. US Department of Commerce, Weather Bureau.
- Park, J.H., Lee, J.H., Kim, T.W., and Kwon, H.H. (2019). A development of multivariate drought index using the simulated soil moisture from a GM-NHMM model. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 52, No. 8, pp. 545-554.
- Rey, D., Holman, I.P., and Knox, J.W. (2017). Developing drought resilience in irrigated agriculture in the face of increasing water scarcity. *Regional environmental change*, Vol. 17, No. 5, pp. 1527-1540.
- Shafer, B.A., and Dezman, L.E. (1982, January). Development of surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought condition in snowpack runoff areas. *Proceeding of 50th Annual Western Snow Conference*, pp. 164-175. Reno, Nevada.
- Wilhite, D.A., and Glantz, M.H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*, Vol. 10, No. 3, pp. 111-120.

Received	■	April 27, 2021
Revised	■	April 27, 2021
Accepted	■	May 10, 2021