표준점수법을 활용한 가뭄발생 추정식 개발: 아시아를 대상으로

Development of Regression Equation for Drought Occurrence Using Standard Score Method: Focused on Asia

송영석* · 이희섭** · 정동휘*** · 유도근**** · 박무중*****

Song, Youngseok*, Lee, Heesup**, Jung, Donghwi***, Yoo, Doguen****, and Park, Moojong*****

Abstract

In this study, a regression equation for drought occurrence is developed using past drought damage data from Asia. To estimate the regression equation for drought occurrence, Asian droughts are converted into standard scores according to yearly damage. Standard scores of drought occurrence are analyzed using the drought damage data for Asia from 1900 to 2018 to utilize the dimensionless index of normal distribution. Standard scores of drought occurrence in Asia are classified into seven grades. Quantitative indicators of the number of drought occurrences as well as the standard scores of tributaries are presented. Also, the regression equation for drought occurrence in Asia is calculated to predict drought damage considering the climate change effect. The drought outlook for the continent is expected to be the same in Central and Western Asia in 2040 compared with 2018, while the occurrence of drought in East Asia, Southeast Asia, and South Asia is increasing.

Key words : Asian Droughts, Drought Damage, Regression Equation of Drought Occurrence, Standard Score, Climate Change

요 지

본 연구에서는 과거 아시아에서 발생한 가뭄피해 데이터를 활용하여 가뭄발생 추정식을 개발하였다. 가뭄발생 추정식을 산정하기 위해 아시아 가뭄을 연도별 피해에 따라 표준점수로 환산하였다. 가뭄발생 표준점수는 1900년부터 2018년까지 아시아에서 발생한 가뭄피해 데이터를 활용하여 정규분포상의 무차원 지수를 분석하였다. 아시아의 가뭄발생 표준점수는 7 등급으로 분류되었으며 표준점수의 지수산정뿐만 아니라 가뭄발생 횟수의 정량적인 지표도 제시하였다. 또한, 기후변화의 영향을 고려한 가뭄피해 예측위해 아시아 지역의 가뭄발생 추정식을 산정하였다. 아시아 지역의 가뭄전망은 2018년 대비 2040년에는 중앙아시아와 서아시아는 현재와 비슷할 전망이며, 동아시아, 동남아시아, 남아시아는 가뭄발생이 증가하는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 아시아 가뭄, 가뭄피해, 가뭄발생 추정식, 표준점수, 기후변화

1. 서 론

가뭄은 다른 자연재난과는 달리 단기적 영향뿐만 아니라

장기적 영향이 짧게는 몇 주에서 길게는 수년동안 농업, 생활, 사회 그리고 경제 등으로 그 영향이 광범위하고 막대한 피해를 발생시킨다. 또한, 최근 기후변화의 영향으로 전

*정회원, 대구공업대학교 토목조경과 조교수(E-mail: kind711@hanmail.net)

Member, Assistant Professor, Civil Engineering and Landscape Architectural, Daegu Technical University

**정회원, 한서대학교 건설공학과 박사과정

Member, Ph.D Candidate, Department of Construction Engineering, Hanseo University

***정회원, 계명대학교 토목공학과 조교수

Member, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Keimyung University

****정회원, 수원대학교 건설환경공학부 조교수

Member, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Suwon University

*****교신저자, 정회원, 한서대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-70-8238-5646, Fax: +82-41-660-1119, E-mail: mjpark@hanseo.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Hanseo University

지구의 기온 상승은 강우량의 빈도와 규모에 영향을 미치고 있어 그에 대한 대책마련이 필요하다(IPCC, 2007; Rippey, 2015). 미국 텍사스에서는 2011년에 1936년 이후 가장 극심한 가뭄이 발생하였으며 2012년 기준으로 미국 전역의 75%가 지난 수십년 동안 빈번한 가뭄을 겪고 있다고 제시하였다(Lal et al., 2012; Sternberg, 2011). 국내에서는 2014년부터 2016년까지 경기도와 충청도 지역에 평균보다 매우 적은 강우량이 기록되면서 저수지의 저수율이 절반 이하로 감소하였으며, 이는 농업용수뿐만 아니라 일부 생활용수의 부족으로 많은 피해가 발생하였다. 이러한 가뭄에 효과적인 예방 및 대응을 위해서 농업적, 기상학적, 수문학적, 사회·경제적 가뭄지수를 이용하여 가뭄을 평가하는 기법의 연구가 수행되었다.

가뭄을 평가하는 다양한 지수들은 다양한 분류에 따라 기상학적 가뭄, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄, 사회·경제적 가뭄으로 분류되어 가뭄의 심도를 측정하고 있다(Wilhite and Glantz, 1985). 각 가뭄에 대한 대표적인 가뭄지수로는 기상학적 가뭄은 Palmer Drought Severity Index (PDSI), Standardized Precipitation Index (SPI), 농업적 가뭄은 Crop Moisture Index (CMI), Crop Specific Drought Index (CSDI), 수문학적 가뭄은 Surface Water Supply Index (SWSI), Reclamation Drought Index (RDI) 등이 사용되고 있다(Palmer, 1965, 1968; Shafer and Dezman, 1982; McKee et al., 1993; Meyer et al., 1993; Weghorst, 1996). 그러나 이러한 가뭄지수들은 가뭄의 심도를 파악하거나 예측방법으로 활용될 뿐 실제 가뭄 발생에 대한 횟수를 제시하지는 않았다.

최근에는 과거 개발된 가뭄지수의 산정방법이 가뭄을 발생시키는 다양한 수문순환 구성성분을 통해 여러개의 가뭄지수를 동시에 이용하여 목적에 맞게 판단하는 자료로 사용되고 있다(Won and Chung, 2016). 강수량과 증발산량을 동시에 고려하여 물리적 가뭄을 평가하는 Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), 가뭄지수 사이의 상관관계를 분석, SPEI와 SPI를 이용하여 가뭄심도를 비교 분석,

SPI와 로그 선형 분석모형을 이용하여 가뭄발생 빈도와 특징을 산정하였다(Vicente-Serrano and López-Moreno, 2005; Moreira et al., 2006; Dogan et al., 2012; Kim et al., 2012; Jain et al., 2015; Lee et al., 2015). 또한, 유출량과 실제 이용 가능한 물 사용량을 Hydrological Drought Index (HDI)로 분석하여 가뭄을 예측하는 방법론을 제시하였다(Nalbantis and Tsakiris, 2009; Rhee et al., 2010; Son et al., 2015). 다양한 가뭄인자를 고려한 가뭄 예측 및 가뭄지수의 상관관계를 분석하는 연구가 수행되었을 뿐 과거 가뭄피해자료를 활용하여 가뭄발생을 예측하는 추정식 개발 연구는 수행되지 않았다.

본 연구에서는 1900년부터 2018년까지 아시아에서 발생한 가뭄피해 데이터를 활용하여 가뭄발생 추정식을 개발하고자 한다. 가뭄발생 추정식은 과거 가뭄피해 데이터의 등급별 정규분포하여 무차원 지수의 표준점수를 산정할 뿐만 아니라 가뭄발생 횟수에 대한 정량적인 지표도 제시하고자 한다. 본 연구의 결과는 가뭄발생에 따른 재해대응 및 대책마련에 대한 기반자료로 활용될 것으로 예상된다.

2. 분석방법

2.1 대상지역 및 가뭄피해자료

가뭄은 단기적인 피해보다는 일정시간이 지나 서서히 발생하는 재해로서 최근 기후변화의 영향으로 증가하는 기온과 집중호우 발생 후 장기화되는 무강우일수의 증가로 지속적인 가뭄의 피해를 발생시키고 있다. 전세계를 대상으로 가뭄의 발생은 1900년부터 2018년까지 716번이 발생하였으며, 대륙별로 아프리카가 320번, 아시아가 163번, 아메리카가 159번, 유럽이 45번, 오세아니아가 29번으로 총 716번의 가뭄이 Fig. 1과 같이 발생하였다. 본 연구에서는 전세계 5개의 대륙 중 대한민국이 포함되어 있고 대륙별 면적 중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 아시아 지역을 대상으로 가뭄피해에 대한 영향을 분석하고자 한다.

Fig. 1. Global Drought Occurrence (1900~2018) (Source: <https://www.cred.be/>)

아시아는 크게 5개의 대륙으로 중앙아시아(Central Asia), 동아시아(Eastern Asia), 동남아시아(South-Eastern Asia), 남아시아(Southern Asia), 서아시아(Western Asia)로 구분된다. 각 대륙별 국가는 중앙아시아는 키르기스스탄 외 2개국, 동아시아는 대한민국 외 5개국, 동남아시아는 콜롬비아 외 7개국, 남아시아는 아프가니스탄 외 6개국, 서아시아는 아르메니아 외 8개국으로 총 33개의 국가가 Table 1과 같이 위치하고 있다.

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)에서는 재난으로 발생하는 보건, 분쟁 등의 문제를 해결하고 재난에 대한 대비와 대응을 개선하고자 전 세계의 재난발생에 따른 재난피해 데이터를 관리하고 있다(Fig. 2). CRED에서는 The Emergency Events Database (EM-DAT)를 통해 재난관련 데이터를 수집하고 있으며 자료의 출처는 유엔기관, 비정부기구, 보험회사, 연구기관, 언론기관 등 다양한 기관에서 자료를 수집하고 있다.

EM-DAT에서는 자연재난을 Biological, Climatological, Geophysical, Hydrological, Meteorological으로 구분하고 11개의 재해유형을 나누어 피해현황을 조사하였다. 재난데이터 구축 기준은 재난 발생시 10명 이상의 인명피해사망,

100명 이상의 인명피해영향, 국가 비상사태 선포, 국제적 지원이 필요한 재난이 해당된다. 여기서, 인명피해영향은 재난발생으로 식량, 물, 피난처, 의료지원 그리고 부상자 등이 포함된다. 본 연구에서는 CRED에서 EM-DAT를 통해 제공하는 재난피해자료 중 가뭄을 대상으로 1900년부터 2018년까지 아시아 대륙에서 발생한 국가별 피해현황 자료를 활용하고자 한다.

2.2 표준점수법(Standard Score)

표준점수(Standard Score)는 통계학적 방법을 통해 자료에 대한 정규분포를 산정하고 각각의 자료에 대해 표준편차 상에 어떤 위치를 차지하고 있는지를 보여주는 무차원의 수치이다. 표준점수는 백분율(백분율 점수)에 근거하는 방법으로 분포의 표준편차를 이용하여 각각의 변수 값이 평균에서 떨어져 있는 거리를 표시하는 방법으로 평균으로부터 편차 값을 그 점수분포의 표준편차로 나누어 얻는 값이다.

표준점수의 측정단위 중 하나인 Z 점수(Z score)는 평균으로부터 편차점수를 그 분포의 확률변수를 표준편차로 나누어 전환 점수를 산정한다. 편차점수를 그 집단의 표준편차로

Table 1. Asian Countries by Continent

Continent	Country	Sum
Central Asia	Kyrgyzstan, Tajikistan, Uzbekistan	3
Eastern Asia	Republic of Korea, China, Hong Kong, Japan, The Democratic People's Republic of Korea, Mongolia	6
South-Eastern Asia	Cambodia, Indonesia, Lao People's Democratic Republic, Malaysia, Philippines, Thailand, Timor-Leste, Viet Nam	8
Southern Asia	Afghanistan, Bangladesh, India, Iran, Nepal, Pakistan, Sri Lanka	7
Western Asia	Armenia, Azerbaijan, Cyprus, Georgia, Iraq, Israel, Jordan, Syrian Arab Republic, Republic of Yemen	9
Sum		33

Fig. 2. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)
(Source: <https://www.cred.be/>)

나누어 줌으로써 Z 점수는 평균이 0, 표준편차 1인 분포로 표현되는 방법으로 Z 점수의 산정식은 (1)과 같다.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

여기서, Z는 표준점수(Z 점수), X는 변수, μ 는 평균, σ 는 표준편차

Z 점수는 표준점수 분포의 출발점과 단위를 나타내며 다른 점수와의 상대적인 의미에서 비교가 가능하다. 또한, 정상분포의 면적과 Z 점수와는 일정한 관계를 갖고 있기 때문에 원점수의 분포가 정상분포를 이루는 경우에는 이를 Z 점수로 전환시킴으로써 분포상의 상대적인 위치를 파악하여 등급을 구분하는데 사용할 수 있다(Fig. 3).

3. 가뭄발생 표준점수를 활용 가뭄발생 추정식 산정

3.1 아시아의 가뭄발생 표준점수 정의

아시아를 대상으로 가뭄발생에 따른 대륙별 표준점수를 산정하기 위해 EM-DAT에서 제공하는 가뭄피해 자료를

1900년부터 2018년까지 분석하였다. 아시아는 총 5개의 대륙으로 구분되어 있으며 각 대륙별로 소속된 나라에서 발생한 연도별 가뭄의 합계를 대륙의 가뭄발생 횟수로 산정하였다. 1900년부터 2018년까지 118년 동안 아시아에서 발생한 가뭄은 총 173회이며 1960년을 기준으로 가뭄발생이 가파르게 상승하였다(Fig. 4).

아시아의 연도별 발생한 가뭄발생은 173회이며, 동아시아가 53회, 동남아시아가 51회, 남아시아가 49회, 서아시아가 16회, 중앙아시아가 4회 발생하였다(Table 2). 20년 간격으로 가뭄발생을 분석하면 아시아에서는 1900년부터 1960년 이전에는 6회가 발생한 반면 1960년부터 1980년까지는 36회, 1980년부터 2000년까지는 54회, 2000년부터 2020년까지는 77회가 발생하였다.

1960년 이후로 아시아의 가뭄은 20년 간격으로 약 140% ~ 150%의 발생횟수가 증가하였으며 현재 2018년까지의 재난데이터를 적용한 결과이며 2020년까지 가뭄발생 횟수를 추가한다면 그 증가폭은 더 높을 것으로 예상된다. 아시아의 대륙별 가뭄발생 특성을 살펴보면 중앙아시아의 경우 2000년부터 2020년까지 4회가 발생한 반면 동아시아와 동남아시아에서는 1960년 이후 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 남아시아와 서아시아는 1960년 이후로 20년 간격으로 가뭄발생 횟수가 비슷하게 발생한 것으로 분석되었다.

Fig. 3. Normal Bell-shaped Distribution of Standard Score

Fig. 4. Drought Occurrence Status by Asian (1900~2018)

Table 2. Drought Occurrence Status in Asia by Year

Continent	Drought Occurrence Count (year)						Sum
	1900~1920	1920~1940	1940~1960	1960~1980	1980~2000	2000~2020	
Central Asia	0	0	0	0	0	4	4
Eastern Asia	0	2	0	10	13	28	53
South-Eastern Asia	0	0	0	5	23	23	51
Southern Asia	1	0	3	16	13	16	49
Western Asia	0	0	0	5	5	6	16
Total Asia	1	2	3	36	54	77	173

아시아에서 1900년부터 2018년까지 가뭄피해 발생에 대하여 통계학적 방법의 정규분포에 대한 표준점수를 분석하였다. 표준점수는 정상분포 면적에 대한 백분율로 7개의 등급으로 분류하였으며 표준점수에 대한 가뭄발생횟수도 Table 3과 같이 산정하였다. 본 연구를 통해 산정된 가뭄발생 표준점수는 아시아를 대상으로 분석한 표준점수로서 다른 대륙 또는 나라별 적용시에는 등급에 따른 표준점수의 재산정이 필요할 것으로 예상된다.

가뭄발생 표준점수의 등급은 7개로 $+3\sigma$ 은 가뭄발생 백분율이 0.13% 이하, 표준점수는 5.31 이상, 가뭄발생 횟수는 8회 이상, $+2\sigma$ 은 가뭄발생 백분율이 0.13% ~ 2.14%, 표준점수는 3.03 ~ 5.31, 가뭄발생 횟수는 4회 ~ 8회, $+1\sigma$ 은 가뭄발생 백분율이 2.14% ~ 13.59%, 표준점수는 1.19 ~ 3.03, 가뭄발생 횟수는 1회 ~ 4회, 0은 가뭄발생 백분율이 13.59% ~ 50.00%, 표준점수는 0.00 ~ 1.19, 가뭄발생 횟수는 0회 ~ 1회, -1σ 은 가뭄발생 백분율이 50.00% ~ 84.13%, 표준점수는 -0.05 ~ 0.00, 가뭄발생 횟수는 0회, -2σ 은 가뭄발생 백분율이 84.13% ~ 97.72%, 표준점수는 -0.16 ~ -0.05, 가뭄발생 횟수는 0회, -3σ 은 가뭄발생 백분율이 84.13% ~ 97.72%, 표준점수는 -0.53 ~ -0.16, 가뭄발생 횟수는 0회로 구분된다.

가뭄발생의 등급 중 백분율 50% 이상의 등급에서 표준점수는 산정되나 가뭄발생 횟수는 0으로 분석되었다. 가뭄은 매년 발생하기 보다는 짧게는 2년 또는 3년, 길게는 5년 또는 10년을 주기로 발생하는 재난으로서 최근 가뭄발생 횟수가 약 150% 증가한 것을 감안하더라도 과거 연도별

가뭄이 발생하지 않은 기간을 고려한다면 아시아 지역의 연도별 백분율 50% 이상의 범위에서는 가뭄이 발생하지 않는 것이 적정한 것으로 판단된다.

3.2 가뭄발생 표준점수 분석

1900년부터 2018년까지 아시아에서 발생한 가뭄피해에 대하여 중앙아시아, 동아시아, 동남아시아, 남아시아, 서아시아 그리고 아시아 전체에 대하여 매년마다 가뭄발생 표준점수를 Fig. 5와 같이 분석하였다. 아시아 전체에서는 1960년 이후에는 지속적으로 가뭄발생 표준점수가 증가하며, 2000년에 표준점수 최고치를 달성한 후에 1990년대와 비슷하게 가뭄발생 표준점수가 분석되었다. 아시아의 대륙 중 중앙아시아는 2000년과 2010년, 서아시아는 1970년, 1980년, 1990년, 2000년, 2010년에 약 10년을 주기로 가뭄이 발생하여 높은 표준점수가 산정되었다. 그 외에 동아시아, 동남아시아, 남아시아에서는 가뭄발생 표준점수 2.0 이하에서 1년 ~ 3년을 주기로 1960년부터 지속적인 가뭄이 발생하고 있다. 따라서, 아시아의 가뭄발생은 대부분 동아시아, 동남아시아, 남아시아에서 발생하며 가뭄발생 표준점수의 간격도 짧아 가뭄에 대한 위험도가 높은 것으로 분석되었다.

아시아 대륙에 대하여 가뭄발생 표준점수를 최소, 최대, 표준편차, 분산의 특성을 Table 4와 같이 분석하였다. 아시아 전체에 대한 가뭄발생 표준점수 특성은 평균 0.45, 범위는 -0.53 ~ 5.31, 표준편차는 0.89, 분산은 0.78, 중앙아시아는 평균 0.01, 범위는 -0.02 ~ 0.88, 표준편차는 0.10, 분산은

Table 3. Ranking for Standard Score of Drought Occurrence in Asia

Standard Deviations	Percentage (%)	Standard Score (Z score)	Drought Occurrence Count
$+3\sigma$	Under 0.13	Over 5.31	Over 8
$+2\sigma$	0.13 ~ 2.14	3.03 ~ 5.31	4 ~ 8
$+1\sigma$	2.14 ~ 13.59	1.19 ~ 3.03	1 ~ 4
0	13.59 ~ 50.00	0.00 ~ 1.19	0 ~ 1
-1σ	50.00 ~ 84.13	-0.05 ~ 0.00	0
-2σ	84.13 ~ 97.72	-0.16 ~ -0.05	0
-3σ	Over 97.72	-0.53 ~ -0.16	0

Fig. 5. Standard Score of Drought Occurrence by Asian Continent

Table 4. Characteristics for Standard Score of Drought Occurrence in Asia

Continent	Standard Score (Z score)				
	Average	Min	Max	Standard Deviation	Variance
Central Asia	0.01	-0.02	0.88	0.10	0.01
Eastern Asia	0.14	-0.20	1.65	0.32	0.10
South-Eastern Asia	0.15	-0.19	2.15	0.38	0.14
Southern Asia	0.10	-0.22	1.73	0.33	0.11
Western Asia	0.04	-0.07	2.16	0.27	0.07
Total Asia	0.45	-0.53	5.31	0.89	0.78

0.01, 동아시아는 평균 0.14, 범위는 -0.20 ~ 1.65, 표준편차는 0.32, 분산은 0.10, 동남아시아는 평균 0.15, 범위는 -0.19 ~ 2.15, 표준편차는 0.38, 분산은 0.14, 남아시아는 평균 0.10, 범위는 -0.22 ~ 1.73, 표준편차는 0.33, 분산은 0.11, 서아시아는 평균 0.04, 범위는 -0.07 ~ 2.16, 표준편차는 0.27, 분산은 0.07과 같다.

중앙아시아와 서아시아의 가뭄발생 표준점수는 평균과 분산의 결과는 낮으나 서아시아의 경우 1960년 이후 가뭄발생으로 표준점수의 최소와 최대의 차이는 크게 산정되었다. 동아시아, 동남아시아, 남아시아의 경우 가뭄발생 표준점수는 평균 0.10 이상이며 최소와 최대의 차이는 약 2.0, 표준편차는 0.30 이상, 분산은 0.1 이상으로 비슷한 표준점수가 산정되었으며 지속적으로 가뭄이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

3.3 가뭄발생 표준점수 추정식 개발

가뭄의 발생은 예측이 어려울 뿐만 아니라 예방과 대응에 대한 정확한 시기를 선정하기에도 어려움이 있다. 본 연구에서는 아시아를 대상으로 과거 가뭄피해 자료를 활용하여 가뭄발생 표준점수를 분석하고 가뭄발생 횟수에 대한 정량적인 값을 제시하였다. 미래 가뭄발생에 대한 예측을 위해 1900년부터 2018년까지 118년의 가뭄발생 표준점수를 통해 2040년까지의 가뭄발생 추정식을 Fig. 6과 같이 산정하였다. 아시아의 5개 대륙 중에 중앙아시아와 서아시아의 경우 가뭄발생이 10년 또는 20년에 1번 발생하는 이벤트성의 재해로서 가뭄발생 표준점수 추정식은 0에 가깝게 분석되었다. 반면, 동아시아, 동남아시아, 남아시아는 가뭄의 발생이 약 5년 미만으로 주기가 짧고 지속적인 가뭄이 발생하여 1960년을 기준으로 가뭄발생 표준점수 추정식이 상향하는 것으로 분석되었다.

Fig. 6. Regression Equation for Standard Score of Drought Occurrence in Asian Continent

Table 5. Development of Regression Equation for Standard Score of Drought Occurrence

Continent	Drought Occurrence Regression Equation (1900yr ≤ Y ≤ 2040yr)	Standard Score	
		Present (2018)	Future (2040)
Central Asia	$Y = 0.95 \times \ln(X) - 7.19$	0.04	0.05 (▲0.01)
Eastern Asia	$Y = 8.31 \times \ln(X) - 62.88$	0.36	0.45 (▲0.09)
South-Eastern Asia	$Y = 9.17 \times \ln(X) - 69.33$	0.45	0.55 (▲0.10)
Southern Asia	$Y = 5.62 \times \ln(X) - 42.46$	0.31	0.37 (▲0.06)
Western Asia	$Y = 2.10 \times \ln(X) - 15.84$	0.14	0.16 (▲0.02)
Total Asia	$Y = 26.14 \times \ln(X) - 197.70$	1.22	1.51 (▲0.29)

가뭄발생 표준점수 추정식은 로그함수를 활용하여 아시아 전체, 중앙아시아, 동아시아, 동남아시아, 남아시아, 서아시아로 총 6개의 추정식을 Table 5와 같이 개발하였다. 가뭄발생 표준점수 추정식은 과거의 피해자료를 기반으로 현재부터 미래까지의 가뭄발생 표준점수를 산정할 수 있으며 Table 3의 아시아 가뭄발생 표준점수 등급을 활용하여 가뭄발생 횟수도 확인할 수 있다.

2018년 기준의 가뭄발생 표준점수는 중앙아시아와 서아시아는 0.04 ~ 0.14로 0.00의 범위에 동아시아, 동남아시아, 남아시아는 0.30 ~ 0.45로 약 0.40에 범위에 위치하고 있다. 가뭄발생 추정식을 활용한 2040년의 가뭄발생 표준점수는 중앙아시아 0.05, 서아시아는 0.16으로 2018년 대비 중앙아시아는 0.01, 서아시아는 0.02 상승하였으나 현재와 비슷한 가뭄이 발생할 것으로 예상된다. 또한, 동아시아는 0.45, 동남아시아는 0.55, 남아시아는 0.37로서 2018년 대비 동

시아는 0.09, 동남아시아는 0.10, 남아시아는 0.06이 증가하여 현재와 비슷한 가뭄의 횟수가 발생할 것으로 예상되나 가뭄발생 주기는 증가할 것으로 예상된다.

본 연구의 가뭄발생 추정식을 통한 아시아 지역의 가뭄발생은 매년 0 ~ 1회가 발생하는 것으로 분석되었다. 그러나, 가뭄발생 표준점수가 낮은 중앙아시아나 서아시아 보다는 매년 표준점수가 증가하는 동아시아, 동남아시아, 남아시아에서의 가뭄발생 확률이 더 높으며 그 빈도는 1년 또는 2년에 한번정도 가뭄에 대한 대비가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 아시아 지역을 대상으로 1900년부터 2018년까지 발생한 가뭄피해 데이터를 활용하여 가뭄발생 횟수에 대한 통계학적 방법으로 정규분포 등급을 분류하였다.

아시아 지역의 가뭄발생 표준점수를 분석하고 향후 2040년까지의 추정식을 개발하여 제안하였다.

아시아에서 발생한 가뭄은 118년 동안 33개국에서 173회가 발생하였으나 실제로 1960년 이후에 발생한 가뭄이 167회로 평균적으로 국가별 약 5회의 가뭄피해가 발생하였다. 아시아의 가뭄발생 표준점수는 가뭄피해 횟수의 통계적인 분석을 통해 정량화한 결과이다. 표준점수별 등급은 7개로 구분하였으며 가뭄발생 횟수에 대한 정량적인 결과를 제시하였다. 가뭄발생 표준점수 등급의 경우 대상지역 변경시 표준점수와 가뭄발생 횟수의 범위가 재산정되어야 한다.

아시아의 가뭄발생 표준점수는 1960년 이후에 가뭄이 지속적으로 증가하는 추세에 있으나 대륙별에서는 중앙아시아와 서아시아의 경우 가뭄의 발생이 주기적이기 보다는 이벤트성으로 발생하고 있다. 반면, 동아시아, 동남아시아, 남아시아의 경우 2년 ~ 3년을 주기로 가뭄이 지속적으로 발생하고 있다. 따라서, 아시아의 가뭄발생 표준점수의 증가는 대부분 동아시아, 동남아시아, 남아시아의 주요원인으로 중앙아시아와 서아시아는 가뭄의 영향이 상대적으로 작은 것으로 분석되었다.

가뭄발생 추정식은 1900년부터 2018년까지 산정된 아시아 전체와 대륙별 가뭄발생 표준점수에 로그함수를 적용하여 2040년까지의 가뭄피해 특성을 분석하였다. 가뭄발생 표준점수는 2018년 대비 2040년에 증가하는 것으로 분석되었으며, 중앙아시아와 서아시아의 경우 0.01 ~ 0.02의 표준점수가 증가하여 사실상 가뭄에 대한 영향은 기존과 동일하게 1회성으로 발생될 것으로 전망되었다. 그러나, 동아시아, 동남아시아, 남아시아의 경우 0.06 ~ 0.10이 증가하여 아시아의 가뭄발생 표준점수 등급의 가뭄발생 횟수는 0 ~ 1회 발생의 범위에 있지만 표준점수는 동일 등급에서도 중상에 위치하고 있어 가뭄발생 확률이 50% 이상이며 추정식도 증가하는 추세로 가뭄의 발생이 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 아시아의 가뭄피해에 대한 표준화를 위해 가뭄발생 표준점수를 산정하였으며 미래 가뭄발생에 대한 피해를 예방 및 대응하는 방안으로 추정식을 제안하였다. 가뭄은 지역에 국한되거나 규칙적으로 발생하지 않지만 본 연구의 결과를 활용한다면 대략적인 가뭄발생에 대한 정량적 지표를 통해 가뭄발생의 예측이나 예방에 활용 가능할 것으로 예상된다. 물론, 본 연구의 결과는 가뭄의 발생횟수를 예측할 뿐 지형적인 수분부족 현상이나 가뭄의 심도를 나타내기에는 한계가 있다. 향후 연구과제를 통해 지형이나 강우에 대한 수분부족 현상과 가뭄발생 횟수를 고려한 가뭄의 심도를 추가적인 연구를 통해 제안하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 극한재난대응기반기술개발사업의

연구비 지원(2019-MOIS31-010)에 의해 수행되었습니다.

References

- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). Retrieved from <https://www.cred.be/>
- Dogan, S., Berkay, A., and Singh, V.P. (2012). Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, Vol. 470-471, pp. 255-268.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate change 2007: The physical science basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and NY, USA.
- Jain, V.K., Pandey, R.P., Jain, M.K., and Byun, H.R. (2015). Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River basin. *Weather and Climate Extremes*, Vol. 8, pp. 1-11.
- Kim, B.S., Sung, J.H., Kang, H.S., and Cho, C.H. (2012). Assessment of drought severity over South Korea using standardized precipitation evapo-transpiration index (SPEI). *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 9, pp. 887-900.
- Lal, R., Delgado, J.A., Gulliford, J., Nielsen, D., Rice, C.W., and Van Pelt, R.S. (2012). Adapting agricultural to drought and extreme events. *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 67, No. 6, pp. 162-166.
- Lee, B.R., Sung, J.H., and Chung, E.S. (2015). Comparison of meteorological drought and hydrological drought index. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 48, No. 1, pp. 69-78.
- 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*, Anaheim, CA, USA, pp. 179-184.
- Meyer, S.J., Hubbard, K.G., and Wilhite, D.A. (1993). A crop-specific drought index for corn: I. Model development and validation. *Agronomy Journal*, Vol. 85, No. 2, pp. 388-395.
- Moreira, E.E., Paulo, A.A., Pereira L.S., and Mexia, J.T. (2006). Analysis of SPI drought class transitions using loglinear models. *Journal of Hydrology*, Vol. 331, No. 1-2, pp. 349-359.
- Nalbantis, I., and Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources*

- Management*, Vol. 23, No. 5, pp. 881-897.
- Palmer, W.C. (1965). *Meteorological drought*. Research Paper No. 45, Weather Bureau, U.S. Department of Commerce, pp. 45-58.
- Palmer, W.C. (1968). Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index. *Weatherwise*, Vol. 21, No. 4, pp. 156-161.
- Rhee, J.Y., Im, J.H., and Carbone, G.J. (2010). Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 114, No. 12, pp. 2875-2887.
- Rippey, B.R. (2015). The U.S drought of 2012. *Weather and Climate Extremes*, Vol.10, Part A, pp. 57-64.
- Shafer, B.A., and Dezman, L.E. (1982). Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. *Proceedings of the 50th Annual Western Snow Conference*, Reno, NV, pp. 164-175.
- Son, K.H., Bae, D.H., and Cheong, H.S. (2015). Construction & evaluation of GloSea5-based hydrological drought outlook system. *Atmosphere*, Korean Meteorological Society, Vol. 25, No. 2, pp. 271-281.
- Sternberg, T. (2011). Regional drought has a global impact. *Nature*, Vol. 472, 169. doi:10.1038/472169d
- Vicente-Serrano, S.M., and López-Moreno, J.I. (2005). Hydrological response to different time scales of climatological drought: An evaluation of the standardized precipitation index in a mountainous Mediterranean basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 9, pp. 523-533.
- Weghorst, K. (1996). The reclamation drought index: Guidelines and practical applications. *North American Water and Environment Congress & Destructive Water*, ASCE, pp. 637-642.
- 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.
- Won, K.J., and Chung, E.S. (2016). Drought analysis of Cheongmicheon watershed using meteorological, agricultural, and hydrological drought indices. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 49, No. 6, pp. 509-518.

Received	October 16, 2019
----------	------------------

Revised	October 25, 2019
---------	------------------

Accepted	November 4, 2019
----------	------------------