

아시아 국가의 경제지표 및 기초지표를 고려한 가뭄피해 예측 산정식 개발

Developing Drought Damage Prediction Equation Considering Economic Indicators and Basic Indicators of Asian Countries

송영석* · 이희섭** · 김진복*** · 박종운**** · 박무중*****

Song, Youngseok*, Lee, Heesup**, Kim, Jinbok***, Park, Jongun****, and Park, Moojong*****

Abstract

In this study, 33 different countries in Asia developed a predictive of damage by analyzing the drought that occurred in 1900 to assess the damage caused in 2018. The parameters of the estimation equation for drought damage were drought damage data, national economic indicators, and basic indicators. For drought damage data, seven national economic indicators and basic indicators were selected for the number of cases of drought damage, death toll, impact of human casualties, and amount of damage. The revised R² of the estimation formula for drought damage was analyzed to have high explanatory power with a drought damage rate of 0.794, and the drought's damage was 0.916. Therefore, the results of this study are expected to be used as an index for disaster management by calculating the quantitative damage scale of Asian countries to predict the uncertain damage scale of drought.

Key words : Drought, Damage Prediction, Multiple Regression Analysis, Economic Indicators, Basic Indicators

요 지

본 연구에서는 아시아의 33개 국가를 대상으로 1900년부터 2018년까지 발생한 가뭄피해에 대한 피해예측 산정식을 개발하였다. 가뭄피해 예측 산정식의 매개변수로는 가뭄피해 데이터와 국가별 경제지표와 기초지표를 고려하였다. 가뭄피해 데이터는 가뭄피해 발생횟수, 인명피해사망, 인명피해영향, 피해금액을 국가별 경제지표 및 기초지표는 GDP, 면적, 인구수로 총 7개를 선정하였다. 가뭄피해 예측 산정식의 수정된 R²은 가뭄피해 발생횟수가 0.794, 가뭄의 피해액이 0.916으로 높은 설명력을 가지고 있는 것으로 분석하였다. 따라서, 본 연구의 결과는 가뭄의 불확실한 피해규모를 예측하기 위해 아시아 국가의 정량적 피해규모를 산정하여 재난관리를 위한 지표로서 활용 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 가뭄, 피해예측, 다중회귀분석, 경제지표, 기초지표

*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

***대구공업대학교 토목조경과 조교수

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

****대구공업대학교 토목조경과 조교수

Assistant Professor, Civil Engineering and Landscape Architectural, Daegu Technical 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

1. 서론

전 세계에서 발생하는 자연재난은 발생시점, 피해규모, 피해범위 등에 대한 예측이 어려우며 다양한 국가에서 자연재난을 예측하고 대비하기 위한 연구를 수행하고 있다. 가뭄은 일반적인 자연재해와는 다르게 피해영향이 상당기간 동안 누적되어 나타나고 있으며 가뭄이 해갈된 이후에도 수개월 또는 수년 동안 영향이 존재하고 있다. 또한, 최근 기후변화와 국가 개발사업 등의 영향으로 이상기후현상들이 빈번하게 발생하여 재난과 대규모 피해의 발생 가능성이 증가하고 있다(Kunkel et al., 1999; Easterling et al., 2000; Alexander et al., 2006; Moberg et al., 2006). 이러한 이유로, 전 세계 많은 국가에서는 가뭄에 대하여 가뭄지수 또는 피해액 등을 예측하고 대비하는 능력을 향상하기 위해 다양한 연구를 수행하고 있다.

국내의 가뭄피해 연구로는 2001년 가뭄기록조사 보고서에서 실제 가뭄피해가 발생된 지역을 대상으로 농업 가뭄, 생활 가뭄, 공업 가뭄에 대한 피해액 산정방법을 제안하고 실제 피해지역에 적용하여 피해액을 산정하는 예시를 제시하였다(MOCT, 2002). Seo et al. (2009)은 기존에 제시된 농업가뭄과 생활가뭄의 피해 추정식을 국내 여건에 맞게 보완하여 일부 지역에 대해 농업용수 및 생활용수 부족에 따른 피해를 추정하였다. 그러나, 가뭄에 대한 피해액 연구는 자료의 제한성에 따른 피해액 산정식의 검증과 적용의 어려움이 있다. 국외의 가뭄 피해액 산정에 대한 연구는 미국의 Rio Grande 유역을 대상으로 각 유역별 가뭄 피해에 대한 피해액 산정식을 제안하였다(New Mexico WRRI, 2001). 미국 Natio Drought Mitigation Center (NDMC)에서 가뭄 피해액을 여러 부문으로 세분화 하여 피해액을 산정하였다(NDMC, 2008). MOCT (2002)에서는 농업가뭄에 대하여 작물의 생산량 변동을 고려한 가뭄 피해액을 산정하기 위해서 가상 조건의 농장을 설정하여 개발한 가뭄 피해액 산정기법을 적용 및 설명하였다. 그러나, 작물을 고려한 가뭄 피해액 산정은 지역의 특성이나 작물별 특성으로 국내에 적용하기에는 한계가 있다. 일본의 교통성에서는 생활용수에 대하여 절수율 개념을 적용하여 갈수기 용수공급 부족에 따른 피해액 산정식을 제안하였다.

국내외의 자연재난의 피해액 산정은 재난의 종류 및 크기뿐만 아니라 국가의 사회적 요인 및 경제적 요인 등의 다양한 영향이 고려되어 발생하게 된다. 최근 재난관련 연구들은 가뭄, 호우, 홍수, 지진, 허리케인 등의 재난에 대하여 과거의 피해자료, 국가별 경제지표, 기초지표 등의 다양한 매개변수를 이용한 피해규모를 추정하는 연구를 수행하고 있다(Pielke and Landsea, 1998; Pielke et al., 2008, Daniell et al., 2011; Mendelsohn and Saher, 2011; Neumayer and Barthel, 2011; Kousky, 2014; Song and Park, 2018). 그러나, 가뭄에 대한 피해액 산정은 대부분 피해면적에 대한 작물의 특성을 고려

하여 산정하거나 용수공급 부족에 따른 피해액을 산정하였을 뿐 국가별 경제지표 및 기초지표 등을 활용한 가뭄 피해액 산정식은 연구되지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 아시아에서 발생한 가뭄의 피해자료와 국가별 경제지표 및 기초지표를 고려한 가뭄피해 예측 산정식을 개발하고자 한다. 가뭄 피해자료의 매개변수로는 가뭄피해 발생횟수, 인명피해사망, 인명피해영향, 피해금액을 국가별 경제지표로는 GDP, 인구, 면적은 기초지표로 선정하였다. 매개변수의 적정성은 상관분석을 통해 유의성을 분석할 것이며 다중회귀분석을 통한 가뭄피해 예측 산정식을 제안하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)

회귀분석은 변수의 분포에 따라 단순회귀분석, 다중회귀분석 등으로 구분할 수 있다. 단순회귀분석은 독립변수(Dependent Variable)가 1개, 종속변수(Independent Variable)가 1개로서 두 변수의 관계를 1차 함수의 직선관계를 가정하는 방법으로 Eq. (1)과 같다.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad (1)$$

여기서, X는 독립변수, Y는 종속변수이고, β 는 회귀계수를 의미 한다.

다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)은 수집된 자료의 분석을 통해서 추출된 모집단이 가진 특징이나 모집단의 현상을 추정 및 예측하는 추정기법이다. 주된 목적은 독립변수의 값을 지정했을 때의 종속변수가 갖는 값의 정확한 추정에 있다. 다중회귀분석은 독립변수가 2개 이상이고, 종속변수가 1개로 변수들 사이에 1차 함수의 직선관계로서 Eq. (2)와 같다.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + \varepsilon \quad (2)$$

여기서, X는 독립변수, Y는 종속변수이고, ε 는 상수, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i$ 는 회귀계수를 의미한다.

추정된 다중회귀분석의 유효성과 주어진 자료들에 대한 대표성 및 정확도를 검토하는 것은 중요하다. 다양한 특정방법 중 다중회귀분석의 정도를 특정하는 방법으로 결정계수(Coefficient of Determination)인 R^2 와 분산팽창계수(Variance Inflation Factor)인 VIF가 적용된다. 결정계수는 Explained Sum of Squares (SSE)와 Residual Sum of Squares (SSR)의 합계인 Total Sum of Squares (SST)와 SSE의 비율로서 Eqs. (3)~(6)과 같은 방정식을 적용하여 산정된다.

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST} \quad (3)$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (4)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 \quad (5)$$

$$SSR = \sum_{i=1}^n \hat{u}_i^2 \quad (6)$$

여기서, Y_i 는 i 번째 종속변수, \bar{Y} 는 Y_i 의 평균이며, u_i 는 회귀분석의 오차이다.

결정계수(R^2)의 값은 종속변수의 총 변동에 대한 독립변수들의 상관성을 크기로 나타내는 척도로서 $0 \leq R^2 \leq 1$ 의 범위를 갖는다. 하지만, 다중회귀분석에서는 독립변수의 수가 증가하면 결정계수(R^2)의 값이 커진다. 이러한 결정계수의 단점을 보완하기 위해, 다중회귀분석에서는 수정된 결정계수(R^2)인 Eq. (7)을 적용해야 한다. 또한, 많은 독립변수 중 종속변수에 가장 큰 영향을 주는 변수만을 선택하여 회귀모형에 포함시키거나, 회귀식을 단순화하기 위해 종속 변수에게 가장 영향이 없는 변수를 단계적으로 제거 할 필요가 있다.

$$R^{2_{adj}} = 1 - \frac{SSE/(n-k-1)}{SST/(n-1)} \quad (7)$$

여기서, n 은 표본크기, k 는 독립변수이다

분산팽창계수(Variance Inflation Factor)는 독립변수가 상관관계에 있는 경우 추정된 회귀 계수의 분산이 증가하는 정도를 Eq. (8)과 같이 산정한다. 모형의 일부 독립변수가 다른 독립변수와 상관성을 보이는 것을 다중공선성(multicollinearity)이라 하고, 다중공선성이 크다는 것은 하나의 독립변수가 다른 독립변수에 의존한다는 것으로서 독립변수의 가정에 위배되며, 회귀계수의 분산을 크게 하여 모형을 불안정하게 하고 예측하기 어렵게 만들기 때문에 문제가 된다. 분산팽창계수가 1이면 다중공선성이 존재하지 않음을 의미하며, 일반적으로 분산팽창계수가 10이상이면 다중공선성에 문제가 있다고 볼 수 있다.

$$VIF_i = \frac{1}{1 - R_i^2} \quad (8)$$

여기서, R^2 는 결정계수이다.

2.2 상관분석(Correlation Analysis)

상관분석(correlation analysis)은 확률론과 통계학에서 두

변수 사이의 선형적 관계에 대한 연관성과 방향성을 측정하는 분석방법이다. 두 변수는 서로 독립적인 관계이거나 상관된 관계일 수 있으며 이때 두 변수간의 관계의 강도를 상관관계(Correlation)라 한다.

일반적으로 통계학에서 두 변수간의 상관성을 평가하는 방법으로는 Pearson 상관계수, Kendall 상관계수, Spearman 상관계수 등의 분석방법이 사용된다. 상관관계의 정도를 파악하는 상관계수(Correlation coefficient)는 두 변수간의 연관된 정도를 나타낼 뿐 인과관계를 설명하는 것은 아니다. 상관계수의 값은 -1과 +1사이에서 분석되며, 상관계수가 ± 1 에 가까울수록 두 변수의 완벽한 연관성을, 0에 가까울수록 두 변수의 연관성은 없다. 상관관계의 방향에 따라 + 기호는 양의 관계를, -는 음의 관계를 나타낸다.

Pearson 상관계수(Pearson linear correlation coefficient)는 선형적으로 관련 있는 변수 간의 상관관계의 정도를 측정하는 통계기법이다. 두 변수 간의 선형성(linearity)이 얼마나 높은지를 측정하는 방법으로 변수의 관계가 직선으로 선형성이 높다는 것은 연관성이 높은 것을 의미한다. Pearson 상관계수를 분석하는 방정식은 Eq. (9)와 같다.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^M (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^M (X_i - \bar{x})^2 (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (9)$$

여기서, r = Pearson r correlation coefficient, X_i , Y_i 는 X, Y 변수들의 i 번째 샘플의 값이고, \bar{X} , \bar{Y} 는 X, Y 변수의 평균값이며, M 은 샘플의 개수이다.

Kendall 상관계수(Kendall rank-order correlation coefficient)는 두 변수간의 의존성을 측정하는 비모수적 상관관계의 정도를 측정하는 통계기법이다. 자료의 척도 또는 순위의 척도로 변환한 자료를 이용해 두 변수간의 상관계수의 크기를 산정하는 방법이다. Kendall 상관계수를 분석하는 방정식은 Eq. (10)과 같다.

$$\tau = \frac{N_c - N_d}{\frac{1}{2}N(N-1)} \quad (10)$$

여기서, τ 는 Kendall rank-order correlation coefficient, N_c , N_d 는 각각 일치하는 쌍들(concordant pairs)의 수와 일치하지 않는 쌍들(discordant pairs)의 수이며, N 은 변수의 크기이다.

Spearman 상관계수(Spearman rank-order correlation coefficient)는 두 변수간의 의존성을 측정하는 비모수적 상관관계의

정도를 측정하는 통계기법이다. Spearman 상관계수는 데이터의 분포에 대한 어떠한 가정도 지니지 않으며 변수가 서열 또는 크기의 순위 척도로 측정하여 두 변수간의 상관계수의 크기를 산정하는 방법이다. Spearman 상관계수를 분석하는 방정식은 Eq. (11)과 같다.

$$r_s = 1 - \frac{\sigma \sum d_i^2}{N - (N^2 - 1)} \quad (11)$$

여기서, Spearman rank-order correlation coefficient, d_i 는 두 변수의 값들을 크기순으로 정렬한 것에서 i 번째 값들의 차이이며, N 은 변수의 크기이다

3. 가뭄피해 매개변수 상관분석

3.1 대상지역

아시아는 전세계의 대륙 중에 육지면적의 30%를 차지하는 가장 큰 대륙으로서 다른 대륙보다 거대한 산맥이 많고 해안선이 가장 길어 국가별 다양성이 많은 대륙이다. 또한, 폭 넓은 기후대가 발달해 있어 재난의 발생이 빈번하며 다양한 형태의 동식물상이 분포하며 인구도 가장 많다. 아시아는 크게 5개의 지역으로 중앙아시아(Central Asia), 동아시아(Eastern Asia), 동남아시아(South-Eastern Asia), 남아시아(Southern Asia), 서아시아(Western Asia)로 구분된다. 각 지역별 국가는 중앙아시아가 3개국, 동아시아가 6개국, 동남아시아가 8개국, 동아시아가 7개국, 서아시아가 9개국으로 총 33개의 국가가 Table 1과 같다.

3.2 가뭄피해 데이터와 국가별 경제 지표 및 기초 지표

본 연구에서는 Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)에서 the Emergency Events Database

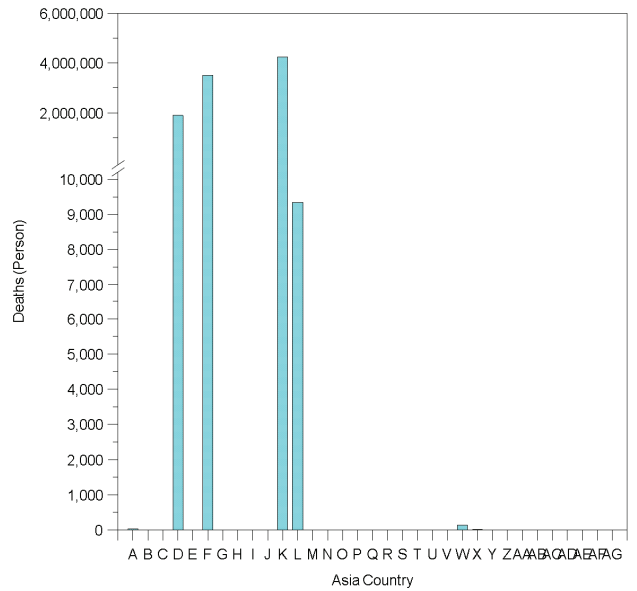
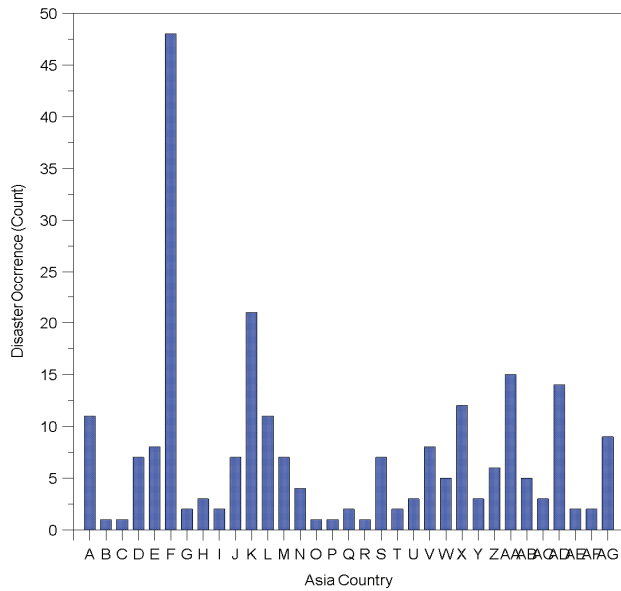
(EM-DAT)를 통해 제공하는 재난피해자료 중 가뭄을 대상으로 1900년부터 2018년까지 아시아 국가별 피해현황을 분석하고자 한다. 국가의 재난발생에 따른 재난피해 데이터는 CRED에서 재난으로 발생하는 보건, 분쟁 등을 해결하고 재난에 대한 대비와 대응을 개선하고자 자료를 제공하고 있다. CRED에서는 EM-DAT를 통해 재난관련 데이터를 수집하고 있으며 자료의 출처는 유엔기구, 비정부기구, 보험회사, 연구기관, 언론기관 등 다양한 기관에서 자료를 수집하고 있다. EM-DAT의 재난데이터 구축 기준은 재난 발생시 10명 이상의 인명피해사망, 100명 이상의 인명피해영향, 국가 비상사태 선포, 국제적 지원이 필요한 재난이 해당된다. 여기서, 인명피해영향은 재난발생으로 식량, 물, 피난처, 의료지원 그리고 부상자 등이 포함된다.

아시아 국가에서 발생한 가뭄의 피해현황을 피해발생 횟수, 인명피해사망, 인명피해영향 그리고 피해금액으로 나누어 분석하였다. 아시아 국가에서는 1900년부터 2018년까지 발생한 가뭄은 234번, 인명피해사망은 9,663,400명, 인명피해영향은 2,125,613,716명, 피해금액은 56,698,464 thousand U.S. dollars이며 국가별 가뭄피해 현황은 Fig. 1과 같다. 아시아 국가의 가장 큰 가뭄피해 특성은 피해발생 횟수는 중국이 48회, 인명피해 사망은 인도가 4,250,320명, 인명피해영향은 인도가 1,391,841,000명, 피해금액은 중국이 35,346,420 thousand U.S. dollars가 발생하였다.

가뭄 발생에 따른 아시아 국가별 피해는 국가의 경제적 수준에 따라 농업, 공업, 도시 그리고 사회기반시설의 구축현황, 국가의 면적 및 인구수 등이 피해규모의 영향을 미친다. 본 연구에서는 가뭄발생에 따른 가뭄피해 예측 산정식 개발을 위한 국가별 매개변수로 경제지표인 GDP와 기초지표인 면적과 인구수를 분석하였다. 국가별 경제지표와 기초지표는 연도별로 증가 또는 감소의 변동성이 있는 지표로서 피해예측 산정식 개발은 과거의 평균보다는 현재의 시점을 적용하였다. 국가의 경제적 수준을 판단하는 지표로는 1961

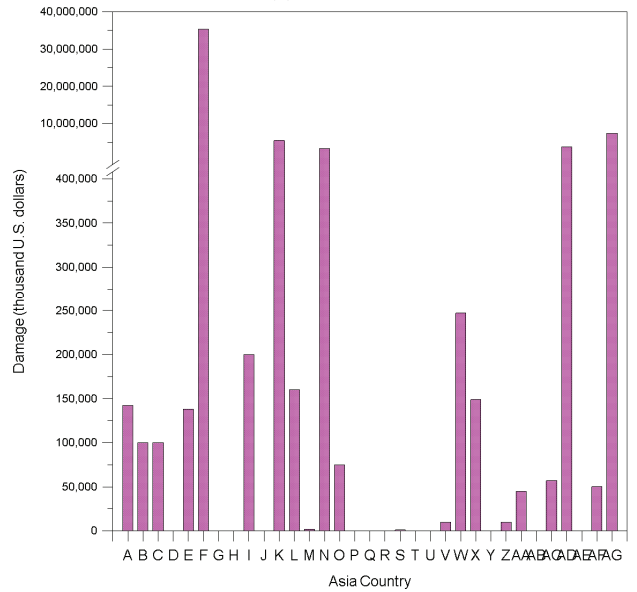
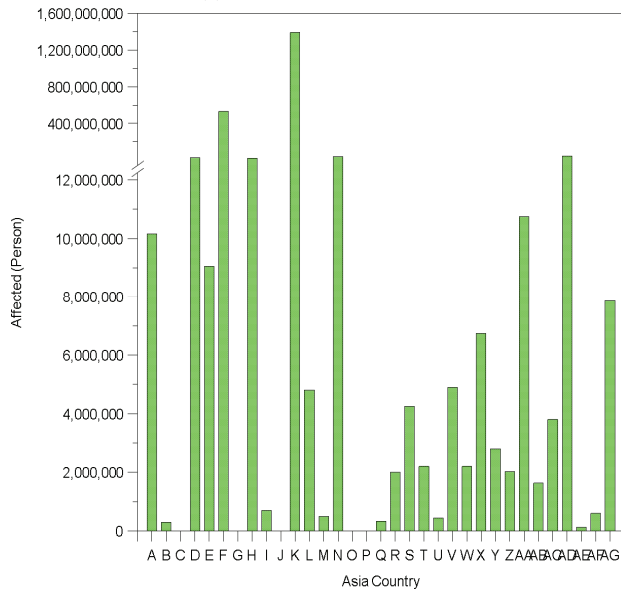
Table 1. Asian Countries

No.	Country	No.	Country	No.	Country
A	Afghanistan	L	Indonesia	W	Pakistan
B	Armenia	N	Iran	X	Philippines
C	Azerbaijan	M	Iraq	Y	Republic of Korea
D	Bangladesh	O	Israel	Z	Republic of Yemen
E	Cambodia	P	Japan	AA	Sri Lanka
F	China	Q	Jordan	AB	Syrian Arab Republic
G	Cyprus	R	Kyrgyzstan	AC	Tajikistan
H	Democratic People's Republic of Korea	S	Lao People's Democratic Republic	AD	Thailand
I	Georgia	T	Malaysia	AE	Timor-Leste
J	Hong Kong	U	Mongolia	AF	Uzbekistan
K	India	V	Nepal	AG	Viet Nam



(a) Disaster Occurrence

(b) Deaths



(c) Affected

(d) Damage

Fig. 1. Drought Damage Status (1900 ~ 2018)

년 경제발전과 세계무역의 촉진을 위해 설립된 국제기구인 International Monetary Fund (IMF)에서 매년 국가별 총생산액인 Gross Domestic Product (GDP)를 공시하고 있다. 또한, 국가의 기초지표인 면적은 Central Intelligence Agency (CIA)의 The World Factbook에서, 인구수는 United Nations (UN)의 World Population Prospects 2018에서 제공하고 있다.

아시아 국가별 GDP, 면적 그리고 인구수에 대하여 2018년 자료를 기준으로 Fig. 2와 같이 분석하였다. GDP의 단위는 billions U.S. dollars로서 최소 3에서 최대 11,795, 평균 762이며, 면적의 단위는 km²로서 최소 1,108에서 최대 9,596,960, 평균 749,922이며, 인구수의 단위는 thousands

people이며 최소 1,189에서 최대 1,415,046, 평균 129,8077 이다.

3.3 상관분석

가뭄 피해예측 산정식 개발을 위한 매개변수로 피해발생 횟수, 인명피해사망, 인명피해영향 그리고 피해금액을 국가별 경제지표와 기초지표는 GDP, 면적, 인구를 선정하였다. 선정된 매개변수별 상관성을 분석하고 다중회귀분석을 통한 피해예측 산정식 개발의 적정성을 검토하였다. 상관분석의 방법으로는 통계학에서 일반적으로 사용하고 있는 Pearson, Kendall, Spearman에 대하여 매개변수의 분포, 크기, 순위에 대한 척도를 나타내는 상관계수를 산정하였다. 아시아의

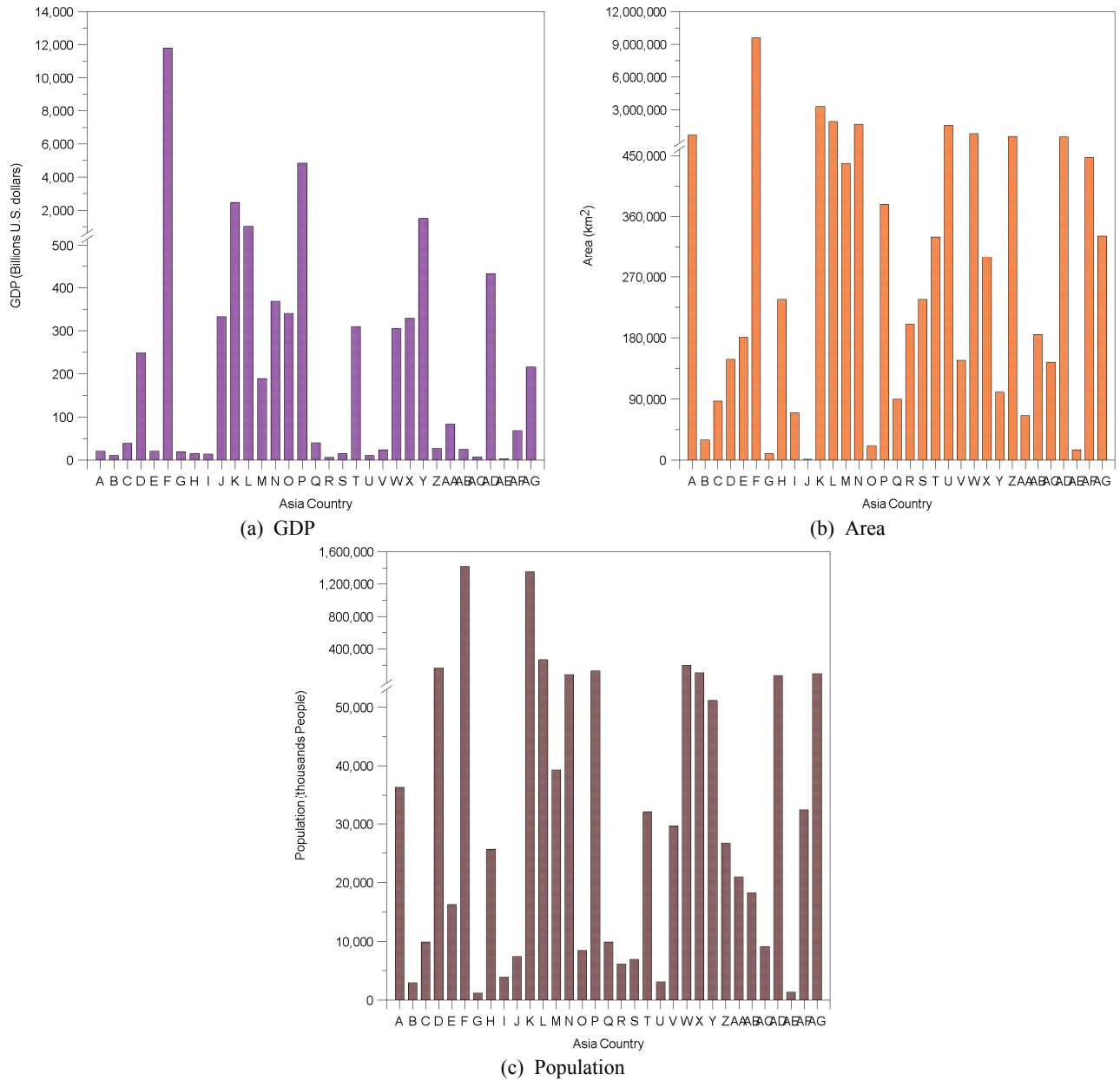


Fig. 2. Economic Indicators and Basic Indicators

가뭄피해 데이터와 경제지표 및 기초지표 현황에 대한 상관 계수의 분석결과는 Table 2와 같다.

매개변수별 상관관계의 분석결과는 모든 조건에서 양의 상관성이 나타났으며 상관분석의 방법이나 자료의 특성에 따라 매개변수별 상관계수의 차이는 있으나 7개의 매개변수는 서로 상관성이 유의한 것으로 분석되었다. 상관계수는 -1과 +1사이에서 분석되는 계수로서 ±1에 가까울수록 두 변수는 연관성이 높으며 0에 가까울수록 연관성이 낮다. 상관 계수는 0.2미만이면 거의 무시할 만한 상관성, 0.2 ~ 0.4는 낮은 상관성, 0.4 ~ 0.7은 비교적 높은 상관성, 0.7 ~ 0.9는 높은 상관성, 0.9이상은 매우 높은 상관성을 나타낸다.

본 연구에서는 Pearson, Kendall, Spearman에 대해 매개변

수를 분석하였으며 Disaster Occurrence은 0.280 ~ 0.883, Total Deaths은 0.339 ~ 0.940, Total Affected은 0.207 ~ 0.893, Total Damage은 0.256 ~ 0.935, GDP은 0.207 ~ 0.935, Area은 0.279 ~ 0.935, Population은 0.349 ~ 0.940의 상관계수가 산정되었다. 매개변수별 상관관계는 Pearson이 Kendall과 Spearman보다 높은 상관계수가 분석되었다. Kendall과 Spearman은 순서형 변수에 대한 관계를 분석하는 반면 Pearson은 변수 사이의 선형관계를 평가하는 방법이다. 따라서, 매개변수의 단위가 각각 다를 경우 순서형 관계보다는 변수 사이의 선형관계로 평가하는 것이 적절한 것으로 분석되었다.

가뭄피해 예측 산정식 개발은 매개변수별 상관계수가 0.7이상으로 높은 상관성이 있는 매개변수를 선정하였다.

Table 2. Correlation Analysis of Drought Damage Data with National Economic Indicators and Basic Indicators

Parameter	Correlation	Parameter						
		Disaster Occurrence ¹⁾	Deaths ²⁾	Affected ³⁾	Damage ⁴⁾	GDP ⁵⁾	Area ⁶⁾	Population ⁷⁾
Disaster Occurrence ¹⁾	Pearson	1	0.730**	0.575**	0.879**	0.786**	0.883**	0.830**
	Kendall	1	0.451**	0.611**	0.380**	0.280*	0.341**	0.429**
	Spearman	1	0.547**	0.760**	0.490**	0.377*	0.460**	0.573**
Deaths ²⁾	Pearson	0.730**	1	0.893**	0.658**	0.649**	0.744**	0.940**
	Kendall	0.451**	1	0.416**	0.380**	0.339*	0.425**	0.553**
	Spearman	0.547**	1	0.497**	0.438*	0.424*	0.511**	0.666**
Affected ³⁾	Pearson	0.575**	0.893**	1	0.448**	0.453**	0.579**	0.881**
	Kendall	0.611**	0.416**	1	0.379**	0.207	0.404**	0.451**
	Spearman	0.760**	0.497**	1	0.498**	0.279	0.535**	0.611**
Damage ⁴⁾	Pearson	0.879**	0.658**	0.448**	1	0.890**	0.935**	0.776**
	Kendall	0.380**	0.380**	0.379**	1	0.256*	0.339**	0.349**
	Spearman	0.490**	0.438*	0.498**	1	0.337	0.454**	0.471**
GDP ⁵⁾	Pearson	0.786**	0.649**	0.453**	0.890**	1	0.889**	0.777**
	Kendall	0.280*	0.339*	0.207	0.256*	1	0.279*	0.598**
	Spearman	0.377*	0.424*	0.279	0.337	1	0.397*	0.782**
Area ⁶⁾	Pearson	0.883**	0.744**	0.579**	0.935**	0.889**	1	0.871**
	Kendall	0.341**	0.425**	0.404**	0.339**	0.279*	1	0.555**
	Spearman	0.460**	0.511**	0.535**	0.454**	0.397*	1	0.703**
Population ⁷⁾	Pearson	0.830**	0.940**	0.881**	0.776**	0.777**	0.871**	1
	Kendall	0.429**	0.553**	0.451**	0.349**	0.598**	0.555**	1
	Spearman	0.573**	0.666**	0.611**	0.471**	0.782**	0.703**	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

note) 1) unit: Count, 2) unit: Person, 3) unit: Person, 4) unit: thousand U.S. dollars, 5) unit: Billions U.S. dollars, 6) unit: km², 7) unit: thousands People

가뭄피해를 예측하는 것은 크게 발생횟수, 인명피해, 피해액으로 구분할 수 있으나, 가뭄에 따른 인명피해는 Fig. 1과 같이 데이터의 부족으로 산정식에서 제외하였다. 가뭄피해 예측은 가뭄발생 횟수와 가뭄 피해액에 대한 산정식을 개발하고자 하며 종속변위에 대한 독립변수의 선정은 상관계수가 0.7이상이고 매개변수별 상관 유의수준이 0.01의 조건을 통과하는 변수만을 선정하였다. 따라서, 본 연구에서 선정한 매개변수별 상관성은 높은 것으로 분석되었으며 가뭄피해 예측 산정식 개발시 매개변수의 상호작용에 따른 유의한 결과가 도출될 것으로 판단된다.

4. 가뭄피해 예측 산정식 개발

4.1 가뭄피해 발생횟수 예측 산정식 개발

가뭄피해 발생횟수에 대한 예측 산정식을 개발하기 위해 상관계수가 0.7 이상인 매개변수를 선정 및 분석하였다. 가뭄피해 발생횟수 예측 산정식의 종속변위는 가뭄피해

발생횟수이며 독립변수는 GDP, 면적, 인구수로 국가별 특성을 적용하여 다중회귀분석을 실시하였다.

가뭄피해 발생횟수 예측 산정식의 다중회귀분석 결과는 Table 3과 같이 산정되었다. 산정식에 대한 수정된 R²의 값은 0.794로 가뭄피해 발생횟수에 대한 3개의 독립변수는 79.4%의 높은 설명력을 가지고 있는 것을 분석되었다. 또한, 종속변위와 3개의 독립변위에 대한 F=37.371, 유의수준도 0.05보다 작은 Sig = 0.000으로 가뭄피해 발생횟수 예측 산정식의 활용에 유의성이 상당히 높은 것으로 분석되었다.

가뭄피해 발생횟수 예측 산정식에 대한 종속변수와 독립변수의 각 매개변수별 회귀계수 및 다중공선성지표가 분석되었다. 독립변수에 대한 변수별 회귀계수는 t-검정을 통한 유의수준이 0.030% ~ 4.653%로 유의한 것으로 나타났다. 또한, 다중공선성은 독립변수의 상관관계를 나타내는 것으로 VIF 값이 4.144 ~ 7.819로 10미만이 분석되어 독립변수에 대한 다중공선성은 유의한 수준으로 분석되었다. 가뭄피해 발생횟수에 대한 예측 산정식은 Eq. (12)와 같다.

Table 3. Multiple Regression Analysis on Number of Drought

Model Summary

R	R Square	Ajusted R Square	Std. Error of the Estimate
0.891 ^a	0.794	0.773	4.179

a. Predictors: (Constant), GDP, Area, Population

ANOVA^a

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	1958.205	3	652.735	37.371	0.000 ^b
Residual	506.522	29	17.466		

a. Dependent Variable: Disaster Occurrence

b. Predictors: (Constant), GDP, Area, Population

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	VIF
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	3.709	0.797		4.653	0.000	
GDP	2.176E-005	0.001	0.005	0.030	0.977	4.760
Area	3.337E-006	0.000	0.659	2.798	0.009	7.819
Population	6.703E-006	0.000	0.252	1.470	0.152	4.144

a. Dependent Variable: Disaster Occurrence

$$DDO = 3.709 + 2.176E-05 \times X_1 + 3.337E-06 \times X_2 + 6.703E-06 \times X_3 \quad (12)$$

여기서, DDO는 Drought Disaster Occurrence (Count), X_1 은 GDP (billions U.S. dollars), X_2 은 Area (km²), X_3 은 Population (thousands People)

본 연구에서 개발한 가뭄피해 발생횟수 산정식을 통한 국가별 가뭄발생 횟수 추정과 과거 가뭄피해 발생 횟수에 대하여 Fig. 3에서 비교하였다. 개발된 가뭄피해 발생횟수 예측 산정식과 과거 국가별 가뭄피해 발생횟수의 상관계수는 0.891이 산정되어 개발된 산정식의 적정성을 확인 할 수 있었다. 국가별 가뭄피해 발생횟수는 장시간 발생한 가뭄피해 발생횟수는 예측이 잘되는 것으로 분석되었으나 10회 미만의 가뭄피해 발생횟수에 대해서는 ±5회 이하의 오차가 발생하였다. 따라서, 본 연구를 통해 개발된 가뭄피해 발생횟수 산정식은 단기간의 가뭄피해 보다는 장기적인 가뭄피해에 대해 산정식의 활용도가 높을 것으로 예상된다.

4.2 가뭄 피해액 예측 산정식 개발

가뭄 피해액에 대한 예측 산정식을 개발하기 위해 상관계수가 0.7 이상인 매개변수를 선정 및 분석하였다. 가뭄 피해액 예측 산정식의 종속변수는 가뭄 피해액이며 독립변수는 GDP, 면적, 인구수, 가뭄피해 발생횟수로 국가별 특성과

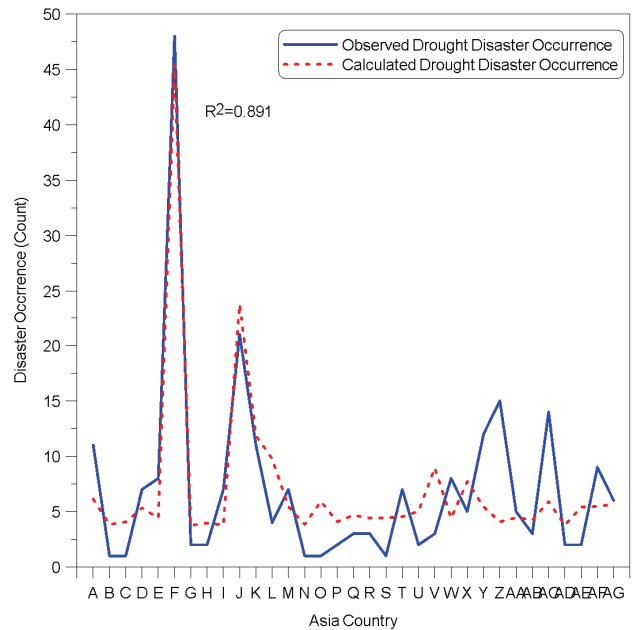


Fig. 3. Comparing Estimation and Observation of Drought Disaster Occurrence

가뭄피해 특성을 적용하여 다중회귀분석을 실시하였다. 가뭄 피해액 예측 산정식의 다중회귀분석 결과는 Table 4와 같이 산정되었다. 산정식에 대한 수정된 R²의 값은 0.916으로 가뭄 피해액에 대한 4개의 독립변수는 91.6%의 높은

Table 4. Multiple Regression Analysis of Damage of Drought

Model Summary

R	R Square	Ajusted R Square	Std. Error of the Estimate
0.957 ^a	0.916	0.904	1943873.192

a. Predictors: (Constant), GDP, Area, Population, Disaster Occurrence

ANOVA^a

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	1.15E+15	4	2.29E+14	76.449	0.000 ^b
Residual	1.15E+14	28	4.28E+12		

a. Dependent Variable: Damage

b. Predictors: (Constant), GDP, Area, Population, Disaster Occurrence

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	VIF
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	-1,551,784	489925.264		-3.167	0.004	
GDP	808.136	342.029	0.282	2.363	0.025	4.760
Area	2.248	0.625	0.620	3.596	0.001	9.929
Population	-4.562	2.199	0.240	-2.074	0.047	4.453
Disaster Occurrence	220,780	86371.138	0.309	2.556	0.016	4.866

a. Dependent Variable: Damage

설명력을 가지고 있는 것을 분석되었다. 또한, 종속변수와 4개의 독립변수에 대한 F=76.49, 유의수준도 0.05보다 작은 Sig=0.000으로 가뭄 피해액 예측 산정식의 활용에 유의성은 상당히 높은 것으로 분석되었다.

가뭄 피해액 예측 산정식에 대한 종속변수와 독립변수의 각 매개변수별 회귀계수 및 다중공선성지표가 분석되었다. 독립변수에 대한 변수별 회귀계수는 t-검정을 통한 유의수준이 -3.167% ~ 3.596%로 유의한 것으로 나타났다. 또한, 다중공선성은 독립변수의 상관관계를 나타내는 것으로 VIF 값이 4.453 ~ 9.929로 10미만이 분석되어 독립변수에 대한 다중공선성은 유의한 수준으로 분석되었다. 가뭄 피해액에 대한 예측 산정식은 Eq. (13)과 같다.

$$DD = -1,551,784 + 808.136 \times X_1 + 2.248X_2 - 4.562 \times X_3 + 220,780 \times X_4 \quad (13)$$

여기서, DTO는 Drought damage (thousand U.S. dollars), X_1 은 GDP (billions U.S. dollars), X_2 은 Area(km²), X_3 은 Population (thousands People), X_4 은 Disaster Occurrence (Count).

아시아 국가를 대상으로 본 연구에서 개발한 가뭄 피해액

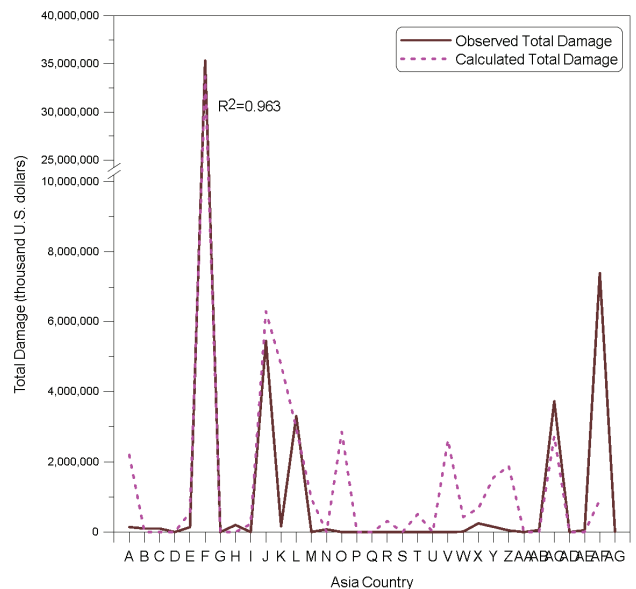


Fig. 4. Comparing Estimation and Observation of Drought Damage

예측 산정식을 통한 가뭄 피해액과 과거 국가별 가뭄 피해액을 Fig. 4에 비교하였다. 개발된 가뭄 피해액 예측 산정식과 과거 국가별 가뭄피해액의 상관계수는 0.963이 산정되었지

만 가뭄이 발생된 국가의 큰 피해액의 추정은 정확도가 높은 것으로 판단된다. 그러나 가뭄 피해가 작게 발생한 국가에 대해서는 +3,000,000 thousand U.S. dollars 이하로 피해액이 과대 추정되는 결과가 산정되었다. 따라서, 본 연구를 통해 개발된 가뭄피해 발생횟수 산정식은 단기간의 가뭄피해 보다는 장기적인 가뭄피해에 대해 산정식의 활용도가 높을 것으로 예상된다.

5. 결론

본 연구에서는 아시아의 33개 국가에 대하여 1900년부터 2018년까지 발생한 가뭄을 대상으로 가뭄피해 데이터와 경제지표 및 기초지표를 고려한 가뭄피해 예측 산정식을 개발하였다. 아시아의 가뭄피해 데이터는 CRED에서 운영하는 EM-DAT을 적용하였으며 국가별 총생산액인 GDP는 IMF에서 인구수는 UN의 World Population Prospects 2017에서 면적은 CIA의 The World Factbook의 자료를 활용하였다.

가뭄피해 예측 산정식 개발을 위한 매개변수로는 가뭄피해현황의 가뭄피해 발생횟수, 인명피해사망, 인명피해영향, 피해금액이 있으며 국가별 경제지표 및 기초지표는 GDP, 인구, 면적으로 총 7개 매개변수 선정하였다. 매개변수별 상관분석은 Pearson, Kendall, Spearman에 대하여 분석하였으며 각각의 매개변수별 상관계수는 양의 상관성으로 유의한 결과가 분석되었다. 가뭄피해 예측 산정식은 가뭄피해 발생횟수와 가뭄 피해액에 대하여 Pearson의 상관계수가 0.7이상인 매개변수별 상관성이 높은 것을 선정하여 다중회귀분석을 산정하였다.

가뭄피해 발생횟수에 대한 피해예측 산정식은 수정된 R^2 의 값이 0.794, 유의수준이 1% 미만, VIF 값이 7.077 ~ 62.846이 산정되어 독립변수에 대한 다중공선성은 유의한 수준으로 분석되었다. 가뭄피해 발생횟수에 대한 예측 산정식은 Eq. (12)와 같으며 산정식을 통한 추정값과 과거 가뭄피해 발생횟수와 비교결과 장기가뭄에는 높은 정확도가 분석되었으나 단기 가뭄에는 ± 5 회 이하의 오차가 발생하였다. 가뭄 피해액에 대한 예측 산정식은 수정된 R^2 의 값은 0.916, 독립변수에 대한 유의수준이 1% 미만, 상수에 대한 유의수준이 1%이상, VIF 값이 5.18 ~ 51.945이 산정되어 독립변수에 대한 다중공선성은 유의한 수준으로 분석되었다. 가뭄 피해액에 대한 산정식은 Eq. (13)과 같으며 산정식을 통한 추정값과 과거 가뭄피해 발생횟수와 비교결과 장기가뭄에는 높은 정확도가 분석되었으나 단기 가뭄에는 +3,000,000 thousand U.S. dollars 이하에서 과대 추정되는 오차가 발생하였다.

본 연구에서는 가뭄피해 예측 산정식으로 국가별 경제지표와 기초지표를 활용하여 발생가능한 가뭄의 정량적인 가뭄피해 발생횟수와 가뭄 피해액의 산정식을 개발하였다.

개발된 산정식은 장기적인 가뭄에 대한 피해 추정에는 정확도가 높은 것으로 분석되었으나 단기적인 가뭄에서는 오차가 발생하였다. 따라서 본 연구를 통해 개발된 가뭄피해 예측 산정식은 단기적인 가뭄피해보다는 장기적인 가뭄피해에 대하여 활용도가 높을 것으로 판단되며 국가적 재난관리의 대응 및 대비자료로 활용이 가능할 것이라 예상된다.

감사의 글

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

References

- Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M.G., et al. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 111, No. D5. doi:10.1029/2005JD006290
- Daniell, J.E., Khazai, B., Wenzel, F., and Vervaeck, A. (2011). The CATDAT damaging earthquakes database. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 11, No. 8, pp. 2235-2251.
- Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R., and Mearns, L.O. (2000). Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. *Science*, Vol. 289, No. 5487, pp. 2068-2074.
- Kousky, C. (2014). Informing climate adaptation: A review of the economic costs of natural disasters. *Energy Economics*, Vol. 46, pp. 576-592.
- Kunkel, K.E., Andsager, K., and Easterling, D.R. (1999). Long-term trends in extreme precipitation events over the conterminous United States and Canada. *Journal of Climate*, Vol. 12, No. 8, pp. 2515-2527.
- Mendelsohn, R., and Saher, G. (2011). *The global impact of climate change on extreme events*. Policy research working paper 5566, The World Bank.
- Ministry of Construction and Transportation (MOCT). (2002). *2001 Record drought research report*.
- Moberg, A., Jones, P.D., Lister, D., Walther, A., Brunet, M., Jacobeit, J., et al. (2006). Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901-2000. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 111, No. D22. doi:10.1029/2006JD007103

- Nation Drought Mitigation Center (NDMC). (2008). *Economic impacts of drought: A review and discussion*. National Drought Mitigation, pp. 8-11.
- Neumayer, E., and Barthel, F. (2011). Normalizing economic loss from natural disasters: A global analysis. *Global Environmental Change*, Vol. 21, No. 1, pp. 13-24.
- New Mexico Water Resources Research Institute (WRRI). (2001). *Institutional adjustments for coping with prolonged and severe drought in the rio grande basin*. Technical Completion Report, No. 317, New Mexico WRRI, pp. 106-148.
- Pielke, R.A., and Landsea, C.W. (1998). Normalized hurricane damages in the United States: 1925-95. *Weather and Forecasting*, Vol. 13, No. 3, pp. 621-631.
- Pielke, R.A., Gratz, J., Landsea, C.W., Collins, D., Saunders, M.A., and Musulin, R. (2008). Normalized hurricane damage in the United States: 1900-2005. *Natural Hazards Review*, Vol. 9, No. 1, pp. 29-42.
- Seo, S.S., Kim, D.G., Lee, K.H., Kim, H.S., and Kim, T.W. (2009). Estimation of drought damage based on agricultural and domestic water use. *Journal of Wetlands Research*, Vol. 11, No. 2, pp. 77-87.
- Song, Y.S., and Park, M.J. (2018). A study on estimation equation for damage and recovery costs considering human losses focused on natural disasters in the Republic of Korea. *Sustainability*, Vol. 10, No. 9, 3103. doi:10.3390/su10093103

Received ■ October 16, 2019

Revised ■ November 1, 2019

Accepted ■ November 12, 2019