



전지구 강수관측위성 기반 격자형 강우자료를 활용한 2022년 국내 가뭄 분석

Quantifying the 2022 Extreme Drought Using Global Grid-Based Satellite Rainfall Products

문영식^a · 남원호^{b,†} · 전민기^c · 이광야^d · 도종원^e · Isaya Kisekka^f
Mun, Young-Sik · Nam, Won-Ho · Jeon, Min-Gi · Lee, Kwang-Ya · Do, Jong-Won · Isaya Kisekka

ABSTRACT

Precipitation is an important component of the hydrological cycle and a key input parameter for many applications in hydrology, climatology, meteorology, and weather forecasting research. Grid-based satellite rainfall products with wide spatial coverage and easy accessibility are well recognized as a supplement to ground-based observations for various hydrological applications. The error properties of satellite rainfall products vary as a function of rainfall intensity, climate region, altitude, and land surface conditions. Therefore, this study aims to evaluate the commonly used new global grid-based satellite rainfall product, Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS), using data collected at different spatial and temporal scales. Additionally, in this study, grid-based CHIRPS satellite precipitation data were used to evaluate the 2022 extreme drought. CHIRPS provides high-resolution precipitation data at 5 km and offers reliable global data through the correction of ground-based observations. A frequency analysis was performed to determine the precipitation deficit in 2022. As a result of comparing droughts in 2015, 2017, and 2022, it was found that May 2022 had a drought frequency of more than 500 years. The 1-month SPI in May 2022 indicated a severe drought with an average value of -1.8, while the 3-month SPI showed a moderate drought with an average value of 0.6. The extreme drought experienced in South Korea in 2022 was evident in the 1-month SPI. Both CHIRPS precipitation data and observations from weather stations depicted similar trends. Based on these results, it is concluded that CHIRPS can be used as fundamental data for drought evaluation and monitoring in unmeasured areas of precipitation.

Keywords: Satellite rainfall; CHIRPS; precipitation; drought index; Standardized Precipitation Index (SPI)

1. 서론

우리나라의 가뭄 발생 주기는 통계적으로 2010년 이전 2년에서 3년 주기로 국지적 가뭄이 발생하고, 5년에서 7년 주기로

로 극심한 가뭄이 나타나고 있지만, 2010년 이후 가뭄의 발생은 매년 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있다 (Bae and Son, 2012; Kim et al., 2012; Jang, 2019; Jeon et al., 2021). 가뭄은 정의에 따라 기상학적 가뭄, 수문학적 가뭄, 농업적 가뭄, 사회·경제적 가뭄으로 분류하고 있지만, 일반적인 가뭄의 시작은 강수량의 부족으로 판단한다 (Seo et al., 2021). 우리나라의 경우 강수량은 5월부터 9월 여름철에 집중되고 있으며, 봄철과 겨울철에 적은 강수량으로 인해 가뭄이 발생하는 특징을 가지고 있다 (KMA, 2023). 따라서 효과적인 가뭄 분석을 위해서는 과거 강수량과 가뭄 발생의 양상을 파악하고, 과학적이고 객관적인 자료를 활용하여 분석하는 방안이 필요하다 (Wilhite and Glantz, 1985).

미국의 경우 국립가뭄경감센터 (National Drought Mitigation Center, NDMC)를 통해 미국 전역의 Standardized Precipitation Index (SPI), Palmer Drought Severity Index (PDSI) 등 다양한 가뭄지수를 산정하고, 이를 활용하여 가뭄 대응체계를 구축하고 있으며 (Nam et al., 2014; 2015), 위성영상을 활용한 Combined Drought Indicator (CDI) 개발 등 원격탐사 자료를 활용한 다양한 가뭄지수를 개발하고 있다. 국내 가뭄 모니터링은 기상청, 국가가뭄정보포털, 농업가뭄관리시스템 등에서 수행하고 있으며, 지상관측소의 지점자료를 기반으로 강수량, 온도 등을 포함한 기상 자료 취득을 통해 가뭄을 분석하고

^a Ph.D. Student, Department of Convergence of Information and Communication Engineering, Hankyong National University, Anseong, Republic of Korea

^b Associate Professor, School of Social Safety and Systems Engineering, Institute of Agricultural Environmental Science, National Agricultural Water Research Center, Hankyong National University, Anseong, Republic of Korea

^c Ph.D. Candidate, Department of Convergence of Information and Communication Engineering, Hankyong National University, Anseong, Republic of Korea

^d Research Professor, Institute of Agricultural Science, Chungnam National University, Republic of Korea

^e Deputy Director, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Ansan, Republic of Korea (Visiting Researcher, University of California, Davis)

^f Professor, Department of Land, Air and Water Resources, University of California, Davis, California, USA

[†] Corresponding author

Tel.: ****_*****_*****

E-mail: wonho.nam@hknu.ac.kr

Received: April 09, 2024

Revised: May 21, 2024

Accepted: May 28, 2024

있다. 지상관측소 자료의 경우 미세측 지역의 자료 구축이 어렵고 공간 보간 방법을 활용하여 관측소의 밀도에 따라 낮은 해상도의 한계점을 가지고 있다 (Jeong et al., 2017; Huffman et al., 2023). 위성기반의 원격탐사 자료는 광범위한 지역을 주기적이고 동일한 정밀도의 데이터를 제공할 수 있는 특징을 가지고 있으며, 지상관측소가 갖는 미세측 지역에서 제한된 접근성의 한계점을 보완하는 장점을 가지고 있다 (Nam et al., 2018; Cho et al., 2019; Gebrechorkos et al., 2023).

인공위성 및 원격탐사 자료를 활용한 자연재해에 대한 모니터링과 분석 연구는 국외 뿐만 아니라 국내에서도 다양하게 진행되고 있으며, 가뭄에 대한 과학적, 장기적 분석체계 기반을 구축하기 위해 위성영상 기술의 도입이 대두되고 있다. Shukla et al. (2014)는 CHIRPS 위성영상 강수량을 활용하여 동아프리카 지역의 농작물 토양수분을 예측하는 연구를 수행하였으며, Alijanian et al. (2019)는 MSWEP (Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation)을 포함한 다양한 원격탐사 및 위성영상 자료를 활용하여 가뭄지수를 산정하는 연구를 수행하였다. 국내에서는 Yoon et al. (2018)은 2017년 국내에 발생했던 극심한 가뭄 사상을 분석하기 위해 위성영상을 활용한 Evaporative Stress Index (ESI)를 산정하였으며, Normalize Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI) 등 다른 가뭄지수와 비교 분석을 통해 적용성을 검토하였다. Lee et al. (2018)은 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) 위성영상과 SPI 및 토양수분과의 비교를 수행하였으며, 이를 통해 강우량 추정으로 충청북도의 가뭄 경향을 분석하였다. Lee et al. (2023)은 위성영상 토양수분 기반

의 Flash Drought Intensity Index (FDII) 산정하였으며, 국내 돌발가뭄으로 감지된 시기 및 지역에 적용하여 지역별 강도를 비교하였다. 또한, 위성영상 기반의 FDII의 강도 변화를 비교하여 돌발가뭄의 메커니즘을 분석하였다. Mun et al. (2019; 2020)은 Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS) 강수량 자료를 동아시아 및 한반도에 적용하여 활용성을 판단하는 연구를 진행하였으며, 가뭄지수 산정을 통해 가뭄 분석의 가능성을 판단하였다.

본 연구에서는 최근에 발생한 극심한 가뭄으로 기록되고 있는 2022년을 대상으로 전지구 강수관측위성 기반 격자형 강우자료를 활용한 기상학적 가뭄지수를 산정하여 가뭄을 분석하고자 한다. 이전 연구에서는 고해상도 강수량 위성영상 CHIRPS의 국내 적용성을 판단하고자 다양한 검증을 통해 신뢰성을 평가하였으며, 본 연구에서는 이를 적용하여 최근 가뭄이 극심하게 나타난 지역을 분석하여 CHIRPS 강수량 자료를 활용한 가뭄 분석을 수행하고자 한다. 격자별 강수량 자료로부터 기상학적 가뭄을 평가할 수 있는 SPI를 산정하여 2022년 가뭄을 분석하고, 실제 가뭄 사상과의 비교를 통해 검증을 수행하고자 한다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구 대상 지역 및 시기

연구 대상 지역은 우리나라 전역이며, 내륙과 강수 특성이 다른 울릉도 등 도서 지역을 제외하였다. 최근 극심한 가뭄이

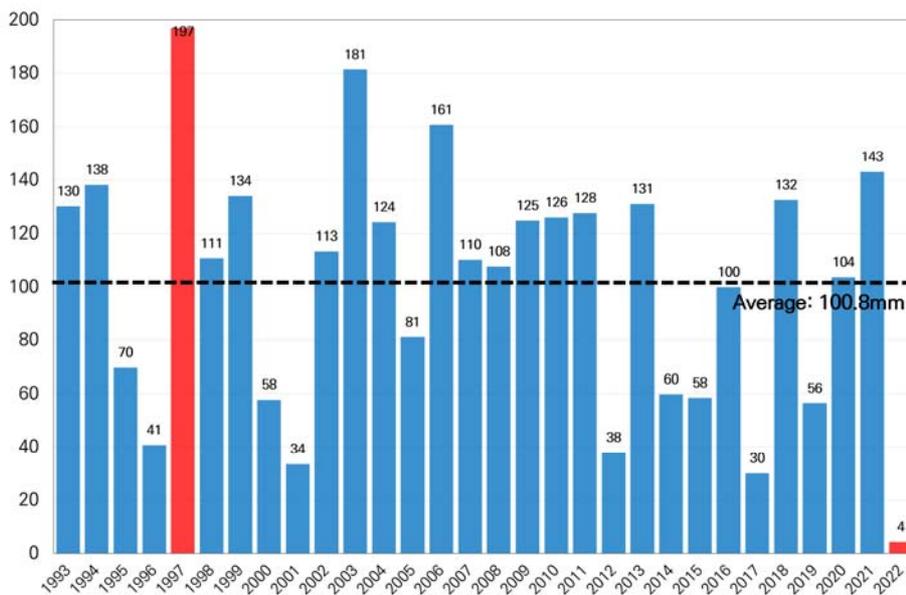


Fig. 1 Time series precipitation data for May using ASOS from 1993 to 2022 (units: mm)

발생한 2022년을 대상으로 강수량 및 가뭄 분석을 수행하였다. 기상관측소의 강수량 분석을 위한 국내 58개 종관기상관측 (Automated Synoptic Observing System, ASOS) 강수량 자료를 수집하였으며, CHIRPS 격자형 강수량 자료와 비교를 수행하였다. 2022년 5월에는 이례적으로 전국 모든 지역에서 기록적으로 낮은 강수량을 나타냈으며, 남부지역에는 장기적인 강수 부족이 지속적으로 나타나 역대 가장 심각한 가뭄이 발생하였다 (KRIHS, 2023). Fig. 1에 도시한바 같이, 56개 지점 관측소 기준 30년 평균 5월 강수량은 100.8 mm를 기록하고 있지만, 2022년은 30년 최저 강수량 4 mm의 낮은 강수량을 나타내었다.

2. 전지구 강수량위성 기반 격자형 강우자료

전지구 강수량위성 기반 격자형 강우자료인 CHIRPS는 1981년부터 현재까지 제공되고 있는 40년 이상의 격자형 강수량 자료이다. Table 1과 같이 자료 제공 범위는 50°S-50°N이며, 다른 격자형 강수량 자료와 비교하였을 때 상대적으로 5 km×5 km (0.05°) 고해상도 자료를 제공하고 있다 (Funk et al., 2014). 미국지질조사국 (United States Geological Survey, USGS)과 캘리포니아 샌타바버라 대학교 기후위기센터 (UC Santa Barbara Climate Hazards Center, UCSB CHC)는 1999년부터 아프리카와 같은 강수량 자료가 부족한 미계측 지역에 대해 강우 지도를 생성하는 기술을 개발해 왔다. 위성자료에서 도출된 추정치는 복잡한 지형으로 인해 편향이 발생하는

면적 평균을 제공하며, 이로 인해 극심한 강수가 발생하더라도 과소평가되는 특징을 가지고 있다. 반대로 지상관측소 강수량 자료의 경우 신뢰도는 높지만, 미계측 지역이 많다는 특징을 가지고 있다 (Funk and Michaelsen, 2004). 연구 초기에는 지상관측소의 보간된 강수량 자료와 복잡한 지형으로 인한 강수량 증가 모델을 결합하는데 중점을 두었지만, 최근에는 미국 항공 우주국 (National Aeronautics and Space Administration, NASA)의 위성기반 격자형 강수량 추정치와 같은 위성영상 자료를 활용하여 고해상도의 격자 기반 강수량 자료를 구축하고 있다 (Funk et al., 2003).

CHIRPS는 3가지 주요 데이터 소스를 결합하여 생성한다. 위성자료로부터 평균 적외선 강수 (Infrared Precipitation, IRP) 5일 강우량 추정치를 생성하고, 통계적 회귀를 통해 TRMM 3B42의 강수량 추정치를 5일로 보정한다. 그 후 평균 IRP 백분율에 해당하는 강수기후학 (The Climate Hazards Center's Precipitation Climatology, CHPClim)을 결합한다. IRP 추정치는 5일 동안 축적된 강수량의 시간적 범위를 나타내며, CHPClim은 공간적인 범위를 나타낸다. 최종적으로 NOAA CFS (Climate Forecast System)의 지상관측소 자료 및 대기 모델 강우량 자료를 취득하고, 결합하여 CHIRPS를 생성하고 있다 (Arregocés et al., 2023). Fig. 2와 같이 2019년부터 2022년 4년간 전 세계 CHIRPS의 연평균 강수량 경향을 나타내었으며, 남아메리카 지역과 아시아 지역이 타 지역에 비해 높은 강수량을 나타내었다.

Table 1 Comparison of global satellite-based precipitation products

Satellite-based precipitation products	Temporal coverage	Temporal resolution	Spatial resolution
CHIRPS V2.0	1981-present	Daily	0.05°
PERSIANN-CDR V1.0 ¹⁾	1983-present	Daily	0.25°
GPCC V6 ²⁾	1982-present	Monthly	1.0°
GPCP V2.2 ³⁾	1987-present	Monthly	2.5°
RFE 2.0 ⁴⁾	2001-present	Hourly	0.1°
CHORPH ⁵⁾	2003-present	3-Hourly	0.25°
IMERGF-V6 ⁶⁾	2000-2021	0.5-Hourly	0.1°
MSWEP V2.2 ⁷⁾	1979-present	3-Hourly	0.1°
SM2RAIN-ASCAT V1.5 ⁸⁾	2007-2021	Daily	0.125°
APHRODITE V1901 ⁹⁾	1951-2015	Daily	0.25°

¹⁾PERSIANN-CDR: Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks-Climate Data Record

²⁾GPCC: Global Precipitation Climatology Centre

³⁾GPCP: Global Precipitation Climatology Project

⁴⁾RFE: Rainfall Estimate

⁵⁾CHORPH: Climate Prediction Center Morphing Method

⁶⁾IMERGF: Integrated Multi-satellitE Retrievals for Global Precipitation Measurement Final run

⁷⁾MSWEP: Multi-Source Weighted Ensemble Precipitation

⁸⁾SM2RAIN-ASCAT: Soil Moisture to Rain-Advanced SCATerometer

⁹⁾APHRODITE: Asian Precipitation Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation

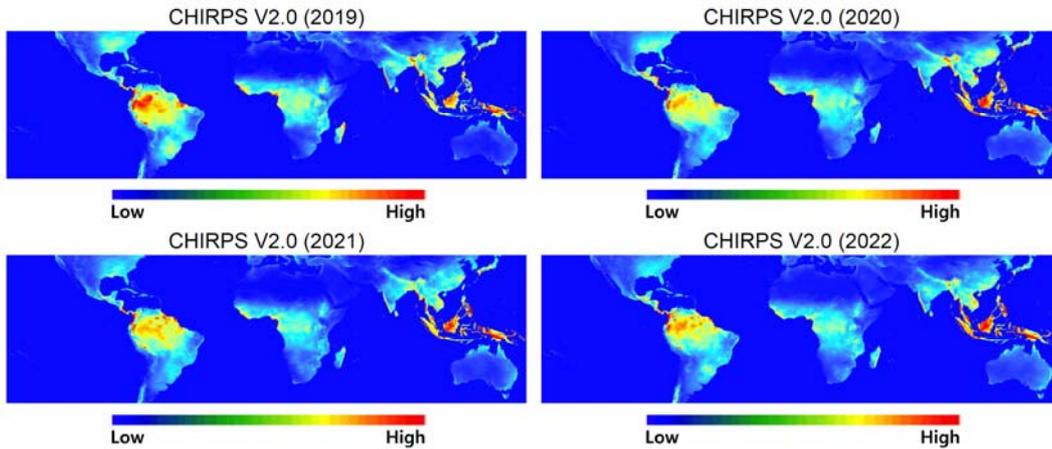


Fig. 2 Global average annual precipitation trend based on CHIRPS data (2019–2022)

3. 가뭄지수 산정을 위한 격자단위 강수량 자료 추출

본 연구에서 가뭄을 판단하기 위해 기상학적 가뭄지수 중 일반적으로 활용하고 있는 SPI를 사용하였다. SPI는 기상인자인 강수량을 활용하여 가뭄을 정량적으로 판단할 수 있는 지수로서 전세계적으로 가뭄모니터링을 위해 활용하고 있으며, 국제적으로 대표되는 기상학적 가뭄지수로 권장하고 있다 (McKee et al., 1993; Hayes et al., 2011). 강수량만을 입력자료로 활용하고, 정규화 과정을 통해 적용된 지역에 대한 표준화 값을 제공함으로써 시공간적인 분석이 가능하다는 특징이 있으며, 다양한 시간 규모에 대해 모니터링을 할 수 있는 장점이 있다.

SPI는 일반적으로 통계적인 방법을 사용하여 강수 상태를 표준화하고 비교 가능한 형태로 나타낸 지수이다. 강수량 자료는 특정 기간 (1개월, 3개월, 6개월 등) 동안의 누적 강수량을 계산하고, 해당 기간에 대한 누적 확률 분포 계산을 통해 강수량에 대한 확률을 나타낸다 (Edwards and McKee, 1997). 누적 확률 분포에서 평균은 해당 기간동안 강수의 기댓값으로 설정하고, 표준 편차는 강수의 변동성으로 구분하여 나타내며, Z-Score 표준화를 통해 강수량이 평균으로부터 차이를 판단한다. 표준화된 강수량을 SPI 값으로 환산하고, 범례에 따라 음수는 강수량의 부족, 양수는 강수량의 과잉으로 판단하여 가뭄을 분석한다. SPI는 국가 및 기관별 기준에 따라 다양한 범례를 가지고 있으며, NDMC에서는 Table 2와 같이 국가기후데이터센터 (National Climatic Data Center, NCDC)에서 분류하고 있는 기준을 활용하여 재분류하고 있다.

본 연구에서는 위성기반의 CHIRPS 격자형 강수량 자료를 활용하여 격자별 강수량 추출 및 SPI를 산정하였다. SPI 산정을 위해서는 30년 이상의 장기간 자료를 필요로 하기 때문에 CHIRPS가 생성된 1981년부터 2022년까지 격자별 강수량 추

출을 하였으며, 매개변수 기반의 강우확률분포를 도출하여 우리나라의 SPI를 산정하였다. SPI 시간 척도는 기상학적 가뭄을 평가할 수 있도록 1개월, 3개월, 6개월을 선정하여 CHIRPS-SPI를 산정하였다.

Table 2 The classification of SPI value according to NDMC and NCDC

Classification	SPI value
Near normal	-0.99 to 0.99
Moderately dry	-1.0 to -1.49
Very dry	-1.5 to -1.99
Extremely dry	-2.0 and below

III. 결과 및 고찰

1. 지상관측소 강수량 자료를 활용한 빈도 분석

2022년 국내 가뭄 정도를 판단하기 위해 지상관측소의 강수량 자료를 활용한 가뭄빈도 분석을 수행하였으며, 가뭄빈도 분석을 통해 과거 동일 기간 대비 현재의 강수량의 재현 기간으로 해석하였다. 통계적으로 2022년 5월 강수량은 역대 가장 낮게 나타났으며, 극심한 가뭄이 발생했던 2015년과 2017년 비교를 수행하였다. 또한, 5월뿐만 아니라 3월부터 5월의 누적강수량, 1월부터 5월의 누적강수량을 비교하였다.

전국 59개 기상관측소 강수량 자료를 활용하여 빈도 분석하였으며, Table 3과 같이 평균 강수량과 비교를 통해 2022년 가뭄빈도를 분석하였다. Table 3의 수치는 해당 시기의 강수량을 의미하며, 평균 강수량과 2022년 강수량의 빈도 분석 결과이다. 2022년 1월부터 5월 강수량은 164 mm, 평균 대비 51%이며, 빈도 분석 결과 약 100년 빈도의 가뭄을 나타내었

Table 3 Analysis of drought frequency from 1973 to 2022

Division	Avg.	2022 year	2Y ¹⁾	5Y	10Y	20Y	50Y	100Y	200Y	500Y
Jan to May	324	164	312	247	218	197	175	162	151	139
Mar to May	256	154	243	181	155	136	118	106	97	87
Jan	30	5	30	17	11	8	4	3	2	1
Feb	38	5	35	18	12	8	5	3	2	1
Mar	60	88	55	34	26	21	16	13	11	9
Apr	95	62	89	57	44	35	26	22	18	14
May	101	4	88	50	36	28	21	17	14	11

¹⁾ Y: Frequency Year

* Units: mm

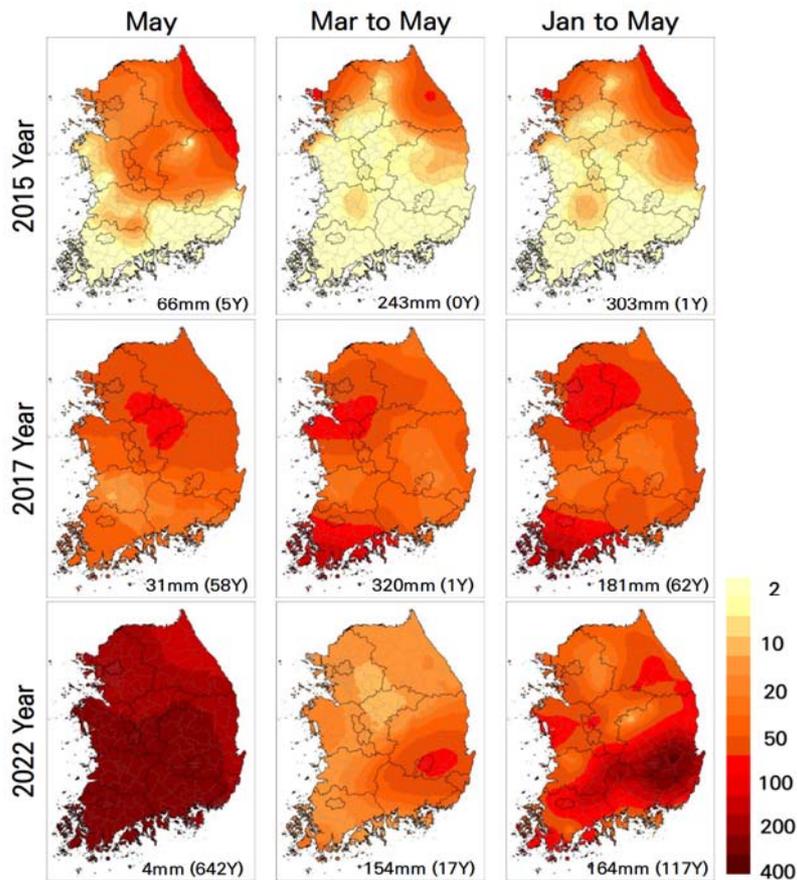


Fig. 3 Comparison of drought frequency in 2015, 2017, and 2022 (units: year)

다. 3월부터 5월의 경우 154 mm 평년 대비 60%의 강수량으로 약 10년 빈도의 가뭄, 5월 강수량은 4 mm로 평년 대비 4%로 500년 이상의 가뭄빈도로 분석되었다. 1월부터 5월의 강수량과 가뭄빈도 분석 결과, 1월과 2월은 약 50년 빈도로 가뭄을 나타냈으며, 3월과 4월은 약 2년의 낮은 빈도를 나타내었다. 하지만 5월의 경우 500년 빈도 이상으로 극심하였다.

극심한 가뭄이 나타난 2015년, 2017과 2022년의 가뭄빈도를 비교하여 Fig. 3과 같이 도식화하였다. 2015년은 전국적으로

5월은 66 mm, 3월부터 5월은 243 mm, 1월부터 5월은 303 mm의 강수량 나타내었으며, 가뭄빈도 분석 결과 각각 5년, 0년, 1년의 빈도로 나타났다. 2017년의 경우 5월은 31 mm, 3월부터 5월은 320 mm, 1월부터 5월은 181 mm의 강수량을 나타내었으며, 각각 58년, 1년, 62년의 가뭄빈도를 나타내었다. 2022년은 5월은 4 mm로 642년 빈도, 3월부터 5월은 154 mm로 17년 빈도, 1월부터 5월은 164 mm로 117년 빈도를 나타내었으며, 2015년과 2017년에 비해 극심한 가뭄빈도가 나타났다.

2. 강수관측위성기반 강우자료와 지상관측자료 비교

기상관측소의 강수량 자료는 기상청에서 활용하고 있는 58개 종관기상관측 지점자료를 구축하였으며, CHIRPS 자료는 기상관측소 지점 좌표 주변 5 km 격자를 추출하여 자료를 구축하였다. 2022년의 경우 CHIRPS의 평균 강수량은 1,101.1 mm, 기상관측소 평균 강수량은 1,147.6 mm로 관측되었으며, 두 자료의 비교 결과 유사한 결과 (오차율 4.2%)를 나타내었다.

Fig. 4는 월별로 비교한 결과이며, 1월부터 5월, 7월의 경우 CHIRPS의 값이 높게 나타났으며, 6월과 8월부터 11월의 경우

기상관측소의 값이 높게 나타났다. 2022년의 경우 남부지역의 빈도가 극심하게 낮게 나타났으며, 1월, 2월, 5월의 실제 강수량이 현저히 낮게 나타났다. 2022년 8월의 경우, 강수량 자료의 차이가 35.2 mm로 가장 크게 나타났으며, 12월은 동일한 값을 나타내었다. 월별 강수량 분석 결과, 관측소 지점의 격자 단위 강수량과 기상관측소 값을 비교하기 때문에 약간의 오차가 발생한 것으로 판단된다.

Table 4는 기상관측소 지점과 해당 지점의 격자를 비교한 결과이며, 5월을 대상으로 비교 분석하였다. CHIRPS의 관측

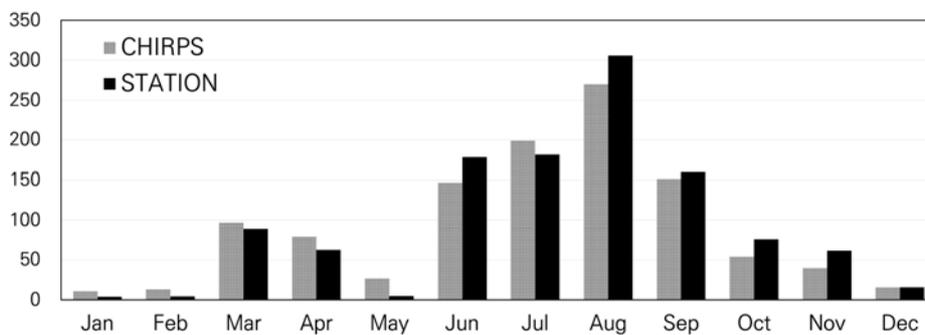


Fig. 4 Comparison of CHIRPS and ground-based monthly precipitation data in 2022 (units: mm)

Table 4 Comparison of CHIRPS and ground-based precipitation data at 58 weather station locations in May 2022

No	CHIRPS	Ground-based	Difference	No	CHIRPS	Ground-based	Difference	No	CHIRPS	Ground-based	Difference
90	20.4	9.1	11.3▲	159	35.8	3.7	32.1▲	244	16.7	1.8	14.9▲
100	26.3	9.3	17.1▲	162	34.9	0.1	34.9▲	245	17.6	2.5	15.1▲
101	34.5	3.8	30.7▲	165	19.6	1.8	17.8▲	247	14.8	1.6	13.3▲
105	17.1	5.8	11.4▲	168	30.3	0.6	29.7▲	260	35.6	0.5	35.2▲
108	40.2	4	36.2▲	170	45.1	13.3	31.9▲	261	35.2	0.9	34.4▲
112	31.8	3.4	28.5▲	184	26.5	9.1	17.5▲	262	34.5	1.6	32.9▲
114	46.5	11	35.6▲	185	35.5	31.8	3.7▲	272	29.0	3.8	25.2▲
119	38.1	3	35.1▲	192	28.5	0.9	27.6▲	273	20.5	5	15.6▲
127	36.1	8.6	27.6▲	201	34.8	1.9	32.9▲	277	16.6	5.4	11.2▲
129	18.7	0.8	17.9▲	202	54.6	4.2	50.4▲	278	13.7	5.4	8.4▲
130	14.8	2.6	12.2▲	203	54.2	4.3	49.9▲	279	19.6	8.2	11.5▲
131	16.6	9.1	7.5▲	211	32.1	6.2	26.0▲	281	17.7	2.1	15.7▲
133	11.6	8.1	3.5▲	212	41.9	7.6	34.3▲	284	21.1	0	21.2▲
135	13.8	4.7	9.1▲	221	42.4	7.5	34.9▲	285	21.1	2.2	18.9▲
138	17.6	0.1	17.5▲	226	14.9	5.6	9.4▲	288	23.5	3.3	20.3▲
140	17.9	2.3	15.6▲	232	29.5	8.8	20.8▲	289	20.9	4.2	16.7▲
143	19.9	4.2	15.8▲	235	8.1	1.7	6.5▲	294	44.5	0.3	44.2▲
146	18.1	3.3	14.8▲	236	10.1	3.5	6.7▲	295	36.0	6.7	29.4▲
152	21.4	6.1	15.3▲	238	13.3	4.1	9.2▲				
156	17.1	0.4	16.7▲	243	15.6	5	10.7▲				

* Units: mm

소 지점별 5월 강수량 평균은 26.3 mm이며, 기상관측소의 강수량은 평균 4.8 mm로 관측되어 CHIRPS가 21.5 mm 더 크게 산정되었다. 5월 CHIRPS 강우위성 강수량과 기상관측소의 차이를 분석하였을 때, 가장 차이가 크게 나타난 관측소는 경기도 양평 (관측소번호: 202), 경기도 이천 (203)으로 각각 50.4 mm, 49.9 mm로 차이를 나타냈으며, 가장 적은 차이를 보인 관측소는 대전 (133), 제주특별자치도 고산 (185)이 각각 3.5 mm, 3.7 mm를 나타냈다. 기상관측소 지점별로 5월 강수량을 비교 분석한 결과 전체적으로 5월의 경우 격자 단위 CHIRPS의 강수량 값이 기상관측소 강수량보다 10 mm에서 20 mm 정도 높게 관측되었지만, 월별 강수량을 비교하였을 때, 경향성은 유사하게 나타났다.

3. CHIRPS 격자 단위 강수량 자료를 활용한 SPI 산정

CHIRPS 강우위성 강수량 자료를 활용하여 1개월 SPI와 3개월 SPI를 산정하였으며, Fig. 5와 같이 2022년 1월부터 5월의 가뭄을 분석하였다. 1개월 SPI 분석 결과 1월 중부지역의 심한 가뭄, 2월 남부지역에 심한 가뭄의 빈도가 높게 나타났다. 3월과 4월은 정상 단계를 나타냈지만, 5월 강수량의 부족으로 전국적인 심한 가뭄을 나타냈다. 3개월 SPI 분석 결과 1개월과는 다른 양상을 나타냈으며, 1월, 3월, 4월에 정상 단계를 나타냈다. 반면 2022년 2월의 경우 중부와 남부지역에 가뭄이 나타났으며, 5월의 경우 강원도 지역을 제외하고 정상 범위를 나타냈다.

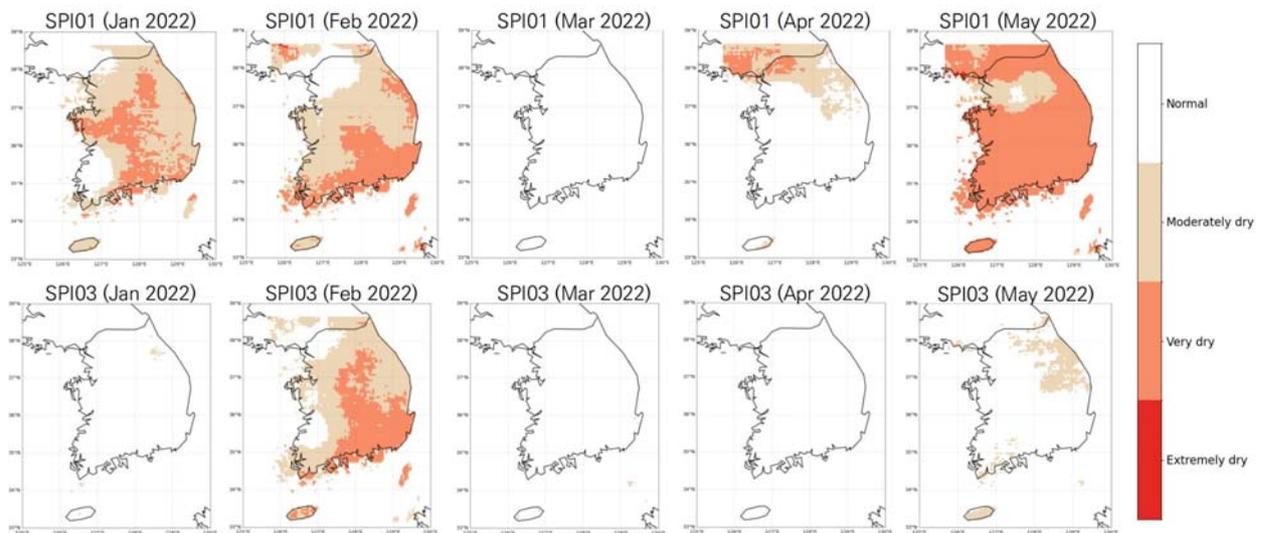


Fig. 5 CHIRPS precipitation-based 1-month and 3-month SPI from January to May in 2022



Fig. 6 Comparison of CHIRPS 1-month and 3-month SPI at each ground-based station in May 2022

2022년 5월의 경우 CHIRPS 격자 단위 강수량 기반 SPI와 비교하기 위하여 기상관측 지점별 강수량을 활용한 SPI를 Fig. 6과 같이 산정하였다. 1개월 SPI와 3개월 SPI를 산정하였으며, 1개월 SPI 평균은 -1.8로 심한 가뭄을 나타내었고, 3개월 SPI는 평균 -0.6으로 정상 범례를 나타냈다. 1개월 SPI에서 가장 가뭄에 취약한 지역은 전라북도 정읍시 (관측소번호: 245)와 남원시 (247)로 나타났으며, -1.97로 극심한 가뭄을 나타냈다. 반면 가장 높은 값을 나타낸 지점은 경기도 양평군 (202)으로 -0.93의 값을 나타냈다. 3개월 SPI의 경우 지점별 정상 범주의 비율이 높았지만, 제주특별자치도 서귀포시 (189)에서 -1.27로 가장 가뭄이 크게 발생하였다.

IV. 결론

본 연구에서는 최근에 발생한 극심한 가뭄으로 기록되고 있는 2022년을 대상으로 전지구 강수관측위성 기반 격자형 강우자료를 활용한 기상학적 가뭄지수를 산정하였다. 2022년의 강수량 부족을 파악하고자 기상관측소 강수량 자료를 활용하여 빈도 분석을 수행하였으며, CHIRPS의 격자별 강수량을 추출하여 실제 기상관측소의 강수량과 비교 분석하였다. 추출된 격자별 강수량을 활용하여 SPI를 산정하였으며, SPI 결과를 통해 가뭄지도도를 표출하였다.

기상관측소 강수량 자료를 활용한 빈도 분석은 비교를 위하여 극심한 가뭄이 발생했던 2015년, 2017년, 2022년을 분석하였으며, 강수량이 낮았던 5월을 기준으로 1월부터 5월, 3월부터 5월, 5월의 빈도 분석을 수행하였다. 2015년은 1월부터 5월까지 누적강수량의 가뭄빈도는 1년, 3월부터 5월까지 누적강수량의 가뭄빈도는 0년, 5월의 가뭄빈도는 5년으로 정상 범주를 나타냈으며, 2017년은 1월부터 5월의 경우 가뭄빈도 62년, 3월부터 5월의 경우 가뭄빈도 1년, 5월의 경우 가뭄빈도 58년으로 극심한 가뭄 발생이 나타났다. 2022년은 1월부터 5월의 경우 가뭄빈도 117년, 3월부터 5월의 경우 17년, 5월은 642년으로 1973년 기상관측 이래 극심한 가뭄이 발생한 것으로 분석되었다.

2022년 기상관측소의 강수량과 CHIRPS의 강수량을 비교하였으며, CHIRPS의 경우 격자 단위로 강수량이 나타나기 때문에 기상관측소 지점의 격자 강수량을 추출하여 분석하였다. 58개 ASOS 기상관측 지점을 대상으로 분석하였으며, 2022년 연평균 강수량은 기상관측소가 1147.6 mm, CHIRPS가 1101.1 mm로 관측되어 46.5 mm의 오차를 나타냈다. 1월 5월, 8월은 CHIRPS의 강수량이 높게 관측되었으며, 7월, 9월부터 11월의 경우 기상관측소의 강수량이 높게 나타나는 경향을 보였다. 2022년 5월의 강수량을 분석하기 위해 기상관측

소의 지점별 비교를 수행하였으며, CHIRPS 5월 평균 26.3 mm, 기상관측소 4.8 mm로 21.5 mm 차이를 나타내었다. 기상관측소별 약 15 mm 차이로 CHIRPS의 강수량이 다소 높게 관측되는 특징을 나타냈다.

CHIRPS의 격자별 강수량을 추출하여 1개월과 3개월 SPI를 산정하였으며, 기상관측소 지점의 SPI 결과 값과 비교하였다. 1개월 누적 강수량을 활용한 SPI 산정결과 평균 -1.8로 극심한 가뭄 단계를 나타냈으며, 3개월 SPI의 경우 -0.6으로 보통 가뭄과 정상 범위를 나타냈다. 1개월 SPI를 월별 분석한 결과 1월 중부와 남부지역에 심한 가뭄 단계를 나타냈으며, 2월에는 남부지역에 심한 가뭄을 나타냈다. 3월은 정상 단계를 나타냈으며, 5월의 경우 전국적으로 심한 가뭄을 나타내었다. 3개월 SPI의 경우 2월 남부지역에 심한 가뭄 단계를 나타내었으며, 5월의 경우 강원도와 제주도 지역에 보통 가뭄 단계를 나타내었다.

CHIRPS 강우위성의 강수량을 활용하여 2022년 5월의 1개월, 3개월 SPI를 분석한 결과 1개월 SPI의 경우 강수량 부족에 따른 가뭄을 나타내었지만, 3개월 SPI의 경우 3월과 4월 누적강수량이 반영되어 강수량 부족을 체감할 수 없었다. CHIRPS의 강수관측위성 기반 격자형 강우자료를 활용한 격자 단위 시계열 강수량 자료는 기존 지점단위 기상관측소의 미세측 지역에 대한 보간방법이 갖는 한계점 보완이 가능하며, 두 자료의 비교를 통해 신뢰성 있는 가뭄 분석 및 가뭄 모니터링이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농업기반 및 재해대응 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (322078-3).

REFERENCES

1. Alijanian, M., G. R. Rakhshandehroo, A. Mishra, and M. Dehghani, 2019. Evaluation of remotely sensed precipitation estimates using PERSIANN-CDR and MSWEP for spatio-temporal drought assessment over Iran. *Journal of Hydrology* 579: 124189. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.124189.
2. Arregocés, H. A., R. Rojano, and J. Pérez, 2023. Validation of the CHIRPS dataset in a coastal region with extensive plains and complex topography. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 8: 100452. doi:

- 10.1016/j.cscee.2023.100452.
3. Bae, D. H., and G. H. Son, 2012. Domestic drought forecast status and development direction. *Water for Future* 45(5): 46-54. (in Korean).
 4. Cho, J., C. G. Kim, S. Hwang, J. Shin, and J. Park, 2019. Hydrologic evaluation of grid-based global climate data for use in ungauged watershed. *Journal of Climate Change Research* 10(1): 23-34. doi: 10.15531/KSCCR.2019.10.1.23. (in Korean).
 5. Edward, D. C., and T. B. Mckee, 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Department of Atmospheric Science, Atmospheric Science Paper No. 634, Climatology Report No. 97-2, Colorado State University.*
 6. Funk, C., and J. Michaelsen, 2004. A simplified diagnostic model of orographic rainfall for enhancing satellite-based rainfall estimates in data poor regions. *Journal of Applied Meteorology* 43(10): 1366-1378. doi: 10.1175/JAM2138.1.
 7. Funk, C., J. Michaelsen, J. Verdin, G. Artan, G. Husak, G. Senay, H. Gadain, and T. Magadzire, 2003. The collaborative historical African rainfall model - description and evaluation. *International Journal of Climatology* 23: 47-66. doi: 10.1002/joc.866.
 8. Funk, C. C., P. J. Peterson, M. F. Landsfeld, D. H. Pedreros, J. P. Verdin, J. D. Rowland, B. E. Romero, G. J. Husak, J. C. Michaelsen, and A. P. Verdin, 2014. A quasi-global precipitation time series for drought monitoring. *U.S. Geological Survey Data Series* 832. doi: 10.3133/ds832.
 9. Gebrechorkos, S. H., J. Peng, E. Dyer, D. G. Miralles, S. M. Vicente-Serrano, C. Funk, H. E. Beck, D. T. Asfaw, M. B. Singer, and S. J. Dadson, 2023. Global high-resolution drought indices for 1981-2022. *Earth System Science Data* 15(2): 5449-5466. doi: 10.5194/essd-15-5449-2023.
 10. Hayes, M., M. Svoboda, N. Wall, and M. Widhalm, 2011. The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society* 92: 485-488. doi: 10.1175/2010BAMS3103.1.
 11. Huffman, G. J., R. F. Adler, A. Behrangi, D. T. Bolvin, E. J. Nelkin, G. Gu, and M. R. Ehsani, 2023. The new version 3.2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly and daily precipitation products. *Journal of Climate* 36(21): 7635-7655. doi: 10.1175/JCLI-D-23-0123.1.
 12. Jang, J. S., 2019. Hydrometeorological characteristics and the spatial distribution of agricultural droughts. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 61(2): 105-115. doi: 10.5389/KSAE.2019.61.2.105. (in Korean).
 13. Jeon, M. G., W. H. Nam, M. H. Yang, Y. S. Mun, E. M. Hong, J. H. Ok, S. A. Hwang, and S. O. Hur, 2021. Assessment of upland drought using soil moisture based on the water balance analysis. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 63(5): 1-11. doi: 10.5389/KSAE.2021.63.5.001. (in Korean).
 14. Jeong, J., D. Kim, and M. Choi, 2017. A study on the utilization of geostationary ocean color imager on communication, ocean and meteorological satellite for drought monitoring. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 17(3): 69-77. doi: 10.9798/KOSHAM.2017.17.3.69. (in Korean).
 15. Kim, S. J., T. Y. Park, S. M. Kim, and S. M. Kim, 2012. The proxy variables selection of vulnerability assessment for agricultural infrastructure according to climate change. *Korean National Committee on Irrigation and Drainage Journal* 18(2): 33-42. (in Korean).
 16. Korea Meteorological Administration (KMA), 2023. Korea climate characteristics. *National Institute of Meteorological Research*, Seoul, South Korea. (in Korean).
 17. Korea Research Institute for Human Settlements (KRIHS), 2023. Measures for improving disaster management in response to worsening and spreading drought in the Gwangju and Jeonnam regions. *Sejong*, South Korea. (in Korean).
 18. Lee, H. J., W. H. Nam, C. Y. Sur, J. Otkin, Y. Zhong, and M. D. Sovoboda, 2023. Flash drought onset and development mechanisms using Flash Drought Intensity Index (FDII) based on satellite-based soil moisture. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 65(3): 57-67. doi: 10.5389/KSAE.2023.65.3.057. (in Korean).
 19. Lee, T., S. Kim, Y. Jung, and Y. Shin, 2018. Assessment of agricultural drought using satellite-based TRMM/GPM precipitation images: at the province of Chungcheongbuk-do. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 60(4): 73-82. doi: 10.5389/KSAE.2018.60.4.073. (in Korean).
 20. McKee, T. B., N. J. Doeskin, and J. Kleist, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, CA, American Meteorological Society: 179-184.

21. Mun, Y. S., W. H. Nam, M. G. Jeon, T. G. Kim, E. M. Hong, M. Hayes, and T. Tadesse, 2019. Application of meteorological drought index using Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS) based on global satellite-assisted precipitation products in Korea. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 61(2): 1-11. doi: 10.5389/KSAE.2019.61.2.001. (in Korean).
22. Mun, Y. S., W. H. Nam, T. G. Kim, E. M. Hong, and C. Y. Sur, 2020. Evaluation and comparison of meteorological drought index using multi-satellite based precipitation products in East Asia. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 62(1): 85-95. doi: 10.5389/KSAE.2020.62.1.085. (in Korean).
23. Nam, W. H., M. J. Hayes, D. A. Wilhite, T. Tadesse, M. D. Svoboda, and C. L. Knutson, 2014. Drought management and policy based on risk assessment in the context of climate change. *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(2): 2-15. (in Korean).
24. Nam, W. H., M. J. Hayes, D. A. Wilhite, and M. D. Svoboda, 2015. Projection of temporal trends on drought characteristics using the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) in South Korea. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(1): 37-45. doi: 10.5389/KSAE.2015.57.1.037. (in Korean).
25. Nam, W. H., T. Tadesse, B. D. Wardlow, M. J. Hayes, M. D. Svoboda, E. M. Hong, Y. A. Pachepsky, and M. W. Jang, 2018. Developing the vegetation drought response index for South Korea (VegDRI-SKorea) to assess the vegetation condition during drought events. *International Journal of Remote Sensing* 39(5): 1548-1574. doi: 10.1080/01431161.2017.1407047.
26. Seo, J. H., H. W. Ji, and Y. J. Kim, 2021. Measures to manage the risk of storm and flood damage to adapt to climate change, focusing on drought disasters. *Water for Future* 54(2): 68-73. (in Korean).
27. Shukla, S., A. McNally, G. Husak, and C. Funk, 2014. A seasonal agricultural drought forecast system for food-insecure regions of East Africa. *Hydrology and Earth System Sciences* 18: 3907-3921. doi: 10.5194/hess-18-3907-2014.
28. Wilhite, D. A., and M. H. Glantz, 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International* 10(3): 111-120. doi: 10.1080/02508068508686328.
29. Wilhite, D. A., M. V. K. Sivakumar, and R. Pulwarty, 2014. Managing drought risk in a changing climate: the role of national drought policy. *Weather and Climate Extremes* 3: 4-13. doi: 10.1016/j.wace.2014.01.002.
30. Yoon, D. H., W. H. Nam, H. J. Lee, E. M. Hong, T. G. Kim, D. E. Kim, A. K. Kim, and M. D. Svoboda, 2018. Application of Evaporative Stress Index (ESI) for satellite-based agricultural drought monitoring in South Korea. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 60(6): 121-131. doi: 10.5389/KSAE.2018.60.6.121. (in Korean).