

경기도 지역에 대한 MODIS 위성영상 및 지점자료기반 가뭄지수의 비교·분석*

강유진¹ · 김형수² · 김동현³ · 왕원준³ · 이하늘⁴ · 서민호⁵ · 정윤재^{6*}

Comparison and Analysis of Drought Index based on MODIS Satellite Images and ASOS Data for Gyeonggi-Do*

Yu-Jin KANG¹ · Hung-Soo KIM² · Dong-Hyun KIM³ · Won-Joon WANG³
· Han-Eul LEE⁴ · Min-Ho SEO⁵ · Yun-Jae CHOUNG^{6*}

요 약

현재 우리나라 기상청에서는 6개월 누적강수량 기준인 SPI6(standardized precipitation index 6)을 이용하여 기상가뭄을 지역별로 평가하고 있다. 하지만, SPI는 69개 기상관측소의 강수량만을 고려하여 산정되는 지수로 복합적인 이유로 나타나는 가뭄사상은 정확하게 판단하지 못하고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구의 목적은 강수량만을 고려한 SPI와 강수량, 식생지수 및 기온을 복합적으로 고려하는 SDCI(Scaled Drought Condition Index)를 경기도 지역을 대상으로 산정 및 비교하고자 하였다. 또한, SPI와 SDCI의 비교를 통해 산정된 결과를 활용하여 지점자료기반 가뭄지수와 위성영상기반 가뭄지수의 장단점을 파악하고자 하였다. SDCI를 산정하기 위해 MODIS(MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) 위성영상자료, 종관기상관측(ASOS) 자료 및 크리깅 기법을 사용하였다. 강수량의 지속기간은 2014년의 8개 시점에 대해 1개월, 3개월, 6개월을 각각 적용하여 SDCI1, SDCI3, SDCI6을 산정하였다. SDCI 산정 결과, SPI와 달리 약 두 달 전부터 가뭄양상을 나타내기 시작하여 경기도 시군별 가뭄에 대해서 잘 드러냈다. 이를 통해, 위성영상자료와 지점자료의 결합이 가뭄지수 변화 양상에 있어서 효율성을 높였으며, 기존의 건조 지역과 더불어 습윤 지역에 대해 가뭄예측 가능성을 증대시켰음을 파악할 수 있었다.

2022년 10월 14일 접수 Received on October 14, 2022 / 2022년 10월 25일 수정 Revised on October 25, 2022 / 2022년 10월 28일 심사완료 Accepted on October 28, 2022

* 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 습지생태계 가치평가 및 탄소흡수 가치증진 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2022003640003).

1 인하대학교 대학원 토목공학과, 석사과정 / Master's Student, Department of Civil Engineering, Inha University

2 인하대학교 사회인프라공학과, 교수 / Professor, Department of Civil Engineering, Inha University

3 인하대학교 대학원 스마트시티공학과, 박사과정 / Ph. D. Student, Department of Civil Engineering, Inha University

4 인하대학교 대학원 스마트시티공학과, 석사 / Master, Department of Civil Engineering, Inha University

5 ㈜지오씨엔아이 공간정보기술연구소, 부장 / Director, Geospatial Research Center, GEO C&I, Co., Ltd.

6 ㈜지오씨엔아이 공간정보기술연구소, 연구소장 / CTO, Geospatial Research Center, GEO C&I, Co., Ltd.

* Corresponding Author E-mail: chyj@geocni.com

주요어 : 기상가뭄, 표준강수지수, 축척가뭄지수, MODIS 위성영상자료, ASOS자료

ABSTRACT

Currently, the Korea Meteorological Administration evaluates the meteorological drought by region using SPI6(standardized precipitation index 6), which is a 6-month cumulative precipitation standard. However, SPI is an index calculated only in consideration of precipitation at 69 weather stations, and the drought phenomenon that appears for complex reasons cannot be accurately determined. Therefore, the purpose of this study is to calculate and compare SPI considering only precipitation and SDCI (Scaled Drought Condition Index) considering precipitation, vegetation index, and temperature in Gyeonggi. In addition, the advantages and disadvantages of the station data-based drought index and the satellite image-based drought index were identified by using results calculated through the comparison of SPI and SDCI. MODIS(MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) satellite image data, ASOS(Automated Synoptic Observing System) data, and kriging were used to calculate SDCI. For the duration of precipitation, SDCI1, SDCI3, and SDCI6 were calculated by applying 1-month, 3-month, and 6-month respectively to the 8 points in 2014. As a result of calculating the SDCI, unlike the SPI, drought patterns began to appear about 2-month ago, and drought by city and county in Gyeonggi was well revealed. Through this, it was found that the combination of satellite image data and station data increased efficiency in the pattern of drought index change, and increased the possibility of drought prediction in wet areas along with existing dry areas.

KEYWORDS : Meteorological Drought, Standardized Precipitation Index, Scaled Drought Condition Index, MODIS Satellite Images, ASOS Data

서론

최근 지구온난화로 인한 기후변화로 인해 홍수 및 가뭄과 같은 자연재해가 빈번히 발생하고 특히, 가뭄으로 인한 피해규모 및 빈도가 증가하고 있다. 우리나라 또한 2000년을 시작으로 가뭄 발생빈도가 급격히 증가하고 있으며, 가뭄으로 인한 재산 및 인명 피해가 꾸준히 발생하고 있는 추세이다(Kim *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2020; Shin *et al.*, 2021; Yoon, 2021; K-water, 2021). 이와 같이, 가뭄은 심각한 피해를 초래할 수 있으므로 해당 자연재해의 사상과 특성의 이해 및 파악은 가뭄 대응에 있어서 중요한 부분이다. 하지만, 가뭄은 태풍이나

홍수와 같이 피해가 단기간에 가시적으로 나타나고 광범위하게 발생하는 자연재해와는 달리, 비가시적이며 강수량, 기온 및 증발산량 등과 같은 다양한 인자들이 복합적으로 작용해 발생한다(Jung *et al.*, 2020; Lee, 2021). 이로 인해, 가뭄은 정량적 해석이 어려워 국가 위기관리에 있어서 정확한 판단을 내리기 어렵다는 특징을 가지고 있고 이를 해결하기 위해 다양한 가뭄지수들이 개발되어왔다(Kwon *et al.*, 2007; Hernandez and Uddameri, 2013; Kim and Chung, 2017; Kim *et al.*, 2018). 가뭄지수는 가뭄의 진행상태 및 심도를 객관적인 기준으로 나타낼 때 활용하는 지표로써 기상, 수문 및 농업 등과 같은 다양한 정보들을 사용해서 산정한다. 이와 같은 특징으로 살펴보았을 때, 가뭄지

수는 가뭄에 대한 이해를 도와 가뭄의 대응 및 대책 마련에 기여할 수 있다(Won and Chung; 2016; Kim, 2017; Choi, 2019).

현재 국내에서는 표준지하수지수(Standardized Groundwater level Index, SGI), 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI), 파머가뭄지수(Palmer Drought Severity Index, PDSI), 수정지표수공급지수(Modified Surface Water Supply Index, MSWSI), 토양수분지수(Soil Moisture Index, SMI) 등과 같은 가뭄지수를 가뭄해석 및 평가에 활용하고 있다(Jung, 2021). 이 중 SPI는 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)에 의해 기상학적 가뭄 감시를 위해 선정된 대표적인 가뭄지수이다. 다양한 지속기간(1, 3, 6, 9, 12개월 등)에 대해서 산정이 가능하고 누적 강수량만을 사용하여 가뭄심도를 나타내기 때문에 적용이 용이하고 직관적인 장점을 가지고 있다. 이러한 장점을 고려해 우리나라 기상청에서는 6개월 누적 강수량을 기준으로 산정한 SPI6를 활용하여 기상가뭄을 평가하고 있다(Park *et al.*, 2020; Yoo *et al.*, 2020). 하지만, SPI의 경우 강수량 자료만을 활용하여 산정되는 지수로 다양한 인자들을 반영하지 못하기 때문에 가뭄사상을 정확히 판단하지 못한다는 문제를 가지고 있다. 또한, 해당 지수는 기상학적 및 수문학적 측면에서 가뭄을 평가하는 지수로 가뭄에 가장 직접적으로 영향을 받는 농업부문의 피해는 반영하지 못한다는 한계를 가지고 있다(Kim, 2017; Kim, 2017).

앞서 설명한 SPI와 같은 기존 가뭄지수들은 지상 기상관측소 자료를 기반으로 내삽기법을 통해 공간 보간을 실시하여 활용된다. 또한, 우리나라는 산악지형이 많은 지리적 특성을 가지고 있고 관측소가 고르게 분포해 있지 않기 때문에 지점자료기반 가뭄지수를 통한 가뭄해석에는 한계가 있다(UNIST, 2016; Jeong *et al.*, 2017; Yoon *et al.*, 2018). 이와 같은 기존 지점자료기반 가뭄지수들의 한계점을 개선하기 위하여 주기적이고 동일한 공간해상도를 가진 자료의 획득이 가능한 위성영상을 활용한 가뭄지수 연구가 다양하게 진행되었다(Park *et al.*,

2006; Nam *et al.*, 2015; Shin *et al.*, 2015; Shin *et al.*, 2019). 현재까지 식생건강지수(Vegetation Health Index, VHI), 증발스트레스지수(Evaporative Stress Index, ESI) 및 축적가뭄지수(Scaled Drought Condition Index, SDCI) 등과 같이 다양한 위성기반 가뭄지수들이 개발되었다(Kogan, 2001; Rhee *et al.*, 2010; Anderson *et al.*, 2011). 그 중 SDCI는 다른 가뭄지수와 달리 식생, 기온 및 강수량을 고려하는 통합적 가뭄지수로 MODIS(MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer)와 TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission) 자료를 사용하여 산정된다. 여기서, 통합적 가뭄지수란 다양한 가뭄지수를 고려하여 개발된 지수로 효율적인 가뭄관리에 활용된다.

하지만, 본 연구에서는 기존 SDCI 산정 방법과 달리, MODIS와 ASOS(Automated Synoptic Observing System) 기상관측소 자료를 이용하여 해당 지수를 산정하였다. ASOS 지점자료는 위성영상자료보다 정확하고, 분 단위로 데이터를 수집하기 때문에 시간, 일, 월 및 연 단위로 분석이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 위성영상 같은 경우에는 기상상황에 따라 데이터 획득이 불가능할 때가 자주 발생하게 되고 ASOS 지점자료와 달리 원하는 시점의 자료를 얻을 수 없다는 특징이 있다. 따라서, 본 연구의 목적은 2014년의 8개 시점에 대해 ASOS 지점자료, MODIS 위성영상자료를 가지고 산정한 SDCI를 국내에서 사용하고 있는 SPI와 비교·분석하고자 하였다.

연구 방법론 및 자료

1. 연구 대상지역

2014년도 서울, 경기 및 충청지역의 강수량은 평년 대비 50~61% 수준밖에 되지 않았으며, 한강 유역은 역대 두 번째 최저 강수량을 기록해 이로 인해 극심한 가뭄이 지속적으로 발생하였다. 서울, 경기 및 충청지역 중 본 연구에서는 경기도지역을 연구 대상지역으로 선정하여

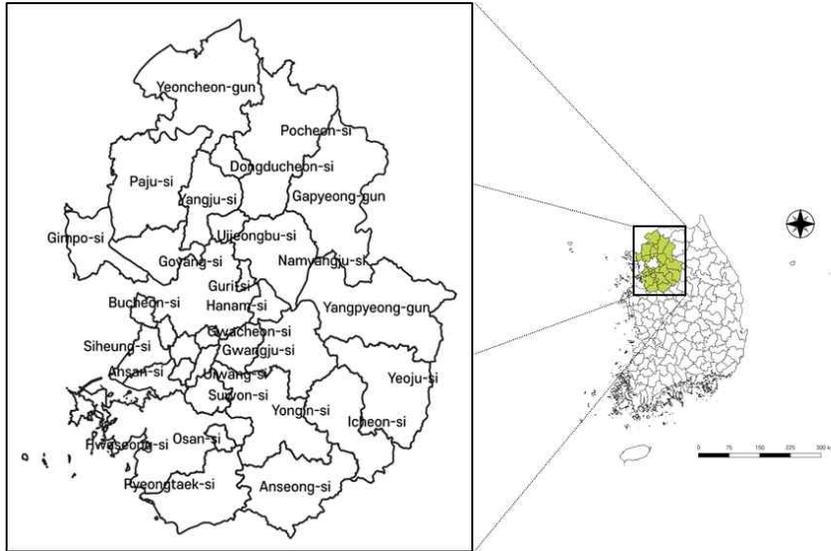


FIGURE 1. The administrative district map of Gyeonggi

2014년도 4~7월에 대한 가뭄분석을 수행하였다. 경기도지역의 2000년 이후부터 2014년까지의 평균 강수량은 1,416.6mm로, 2014년도가 15년 평균 강수량 대비 56.4%인 799.0mm로 가장 작은 연평균 강수량을 나타냈다. 경기도는 우리나라의 북서부에 위치해 있으며, 28개의 시와 3개의 군으로 구성되어 있는 행정구역이다. 그리고 총 면적은 10,171km²로, 대한민국 면적의 10.1%를 차지한다.

기상청은 기상관측을 시행한 1904년 후로 현재까지 매년 관측 장비를 추가 및 보완하여 전국 102개 지점에서 종관기상관측(Automated Synoptic Observing System, ASOS) 자료를 제공하고 있다. 본 연구에서는 102개의 ASOS 관측소 지점 중 경기도지역을 지배하는 관측소를 티센다각형법을 사용하여 추출하였다. 그림 1은 경기도지역의 행정구역도를 나타낸 것이다. 그림 2는 경기도 주변 ASOS 기상관측소의 위치와 티센망을 나타낸 것이다. 그림 2에 표시된 관측소는 각각 95(철원), 101(춘천), 108(서울), 112(인천), 119(수원), 201(강화), 202(양평), 203(이천)이다.

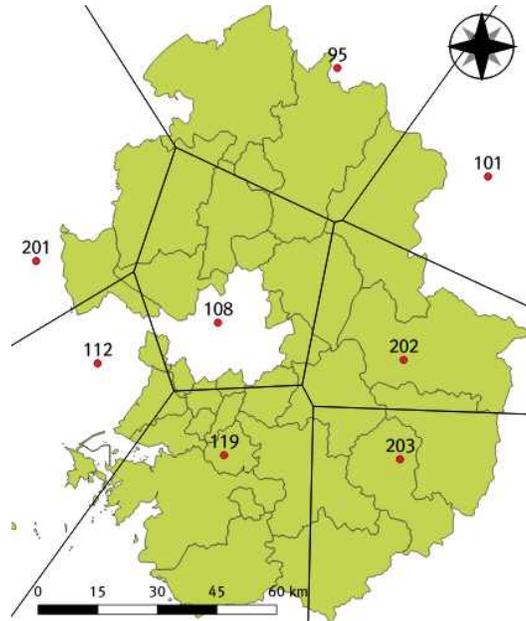


FIGURE 2. The ASOS station location and Thiessen polygon

2. MODIS 시계열 자료

MODIS는 전지구 환경모니터링을 목적으로 미

항공우주국(National Aeronautics and Space Administration, NASA)에서 발사한 Terra와 Aqua 극궤도 위성에 탑재되어 있는 다목적 센서이다. MODIS는 영상보정, 대기, 육지, 극지, 해양 등과 같은 지구 생물권 활동의 관측을 통해 약 40개의 자료를 생산한다. 해당 MODIS 자료는 NASA에서 무료로 제공되며, 다중 데이터 유형의 지원 및 구현의 용이함이 장점인 HDF(Hierarchical Data Format) 형태로 제공된다. 본 연구에서는 Terra 위성으로부터 만들어진 MODIS MOD13A2 NDVI 자료를 사용했으며, 해당 자료는 육지 연구를 위해 생성된 자료이다. MODIS MOD13A2 NDVI는 16일 단위로 세 가지(250m, 1km, 25km) 공간해상도로 작성되는데, 본 연구에서는 1km 자료를 이용했다. 또한, Terra 위성으로부터 얻은 한반도를 포함하는 h27v05 granule 자료를 2014년 4월 7일부터 2014년 7월 28일까지 수집하였다(Hong *et al.*, 2012; Hong *et al.*, 2015; Shin *et al.*, 2015; Na *et al.*, 2017; Park *et al.*, 2017).

3. 표준강수지수

SPI는 강수량만을 이용하여 산정하는 대표적인 기상학적 가뭄지수로 현재 많은 국가에서 가뭄대책 마련을 위해 사용되고 있다(McKee *et al.*, 1993; Kwon, 2013). 해당 지수는 다양한 지속기간(1개월, 3개월, 6개월, 12개월 및 24개월 등)에 대해서 계산이 가능하며, 이렇게 특정 시간단위로 산정된 SPI는 설정한 시간단위에 따라 여러 분야에서 활용된다(Lee, 2012; Ryu *et al.*, 2012). 일반적으로 단기 시간단위(1개월 및 3개월)로 산정된 SPI는 농업적 가뭄과 같은 단기간의 강수량 부족으로 발생하는 가뭄을 분석하는데 활용되고 있다(Lee and Kim, 2011). 이와 달리, 장기 시간단위(12개월 및 24개월)에 대한 SPI는 오랜 기간 동안 연속적인 강수량 부족으로 발생하는 장기가뭄에 대한 평가와 수자원의 공급관리를 위한 계획 등에 사용되고 있다.

SPI를 산정하기 위해서는 먼저 시간 단위별 누가 강수시계열을 산정하여야 한다. 이때 누가 강수시계열은 이동누가에 의한 방법을 사용하여 시간단위에 따라 월 강수량을 연속적으로 중첩하여 계산한다. 생성된 지속시간별 시계열은 식 1의 Gamma 확률분포함수를 사용한 월별 분석을 통해 적정 확률분포형을 산정하게 된다.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (1)$$

여기서, x 는 강수량(Precipitation Amount), $\Gamma(\alpha)$ 는 Gamma 함수(Gamma Function)를 말하며, α 와 β 는 각각 형상매개변수(Shape Parameter)와 축척매개변수(Scale Parameter)를 의미한다. 매개변수 α , β 는 최우도법(Maximum Likelihood Method)을 사용하여 지점별, 지속시간별로 추정되며, 추정된 매개변수는 식 2에 대입해 강우사상의 누가확률을 계산한다.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt; (t = x/\beta) \quad (2)$$

각각의 강우사상에 대해 산정한 누가확률을 표준정규분포에 적용시켜 식 3과 식 4를 이용하여 표준강수지수를 산정한다.

$$SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad (3)$$

$(0 < H(x) \leq 0.5)$

$$SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad (4)$$

$(0.5 < H(x) \leq 1.0)$

여기서, $H(x)$ 는 식 5와 같이 혼합분포형으로 정의되며, q 는 강수 관측일수에 대한 무강수지수의 비를 의미한다.

$$H(x) = q + (1 - q) G(x) \quad (5)$$

그리고 t 는 식 6과 식 7과 같이 정의된다.

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \quad (0 < H(x) \leq 0.5) \quad (6)$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2}\right)} \quad (0.5 < H(x) \leq 1.0) \quad (7)$$

마지막으로, $c_0, c_1, c_2, d_1, d_2, d_3$ 는 다음과 같은 상수값을 갖는다.

$$\begin{aligned} c_0 &= 2.515517 & c_1 &= 0.802853 & c_2 &= 0.010328 \\ d_1 &= 1.432788 & d_2 &= 0.189269 & d_3 &= 0.001308 \end{aligned}$$

4. 축척가뭄지수

현재 위성영상을 활용한 가뭄 분석에는 정규 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), 식생활력지수(Vegetation Health Index, VHI) 및 엽면적지수(Leaf Area Index, LAI) 등과 같은 식생기반 가뭄지수들이 주로 사용되고 있다(Yoon, 2021). 하지만, 해당 지수들은 식생 활력도만을 고려하여 구현된 지수들로, 기온 및 강수 등과 같은 인자들은 반영하고 있지 않기 때문에 실제 가뭄 정도를 나타내지 못한다는 한계를 가지고 있다.

본 연구에서 사용한 SDCI는 기온, 강수 및 식생을 사용하여 산정된 가뭄지수로, 단일 인자만을 고려했을 때 나타나는 편향 문제를 최소화할 수 있으며 농업적 가뭄을 잘 표현한다는 특징이 있다(NDMI, 2016; UNIST, 2016). SDCI 산정 식은 식 8과 같으며, TCI(Temperature Condition Index), PCI(Precipitation Condition Index) 및 VCI(Vegetation Condition Index)로 구성되어 있다. 여기서 TCI, PCI 및 VCI에 대한 가중치는 SDCI를 처음 제안한 Rhee *et al.*(2010)에 의해 정의된 값을 동일하게 적용하였다.

$$SDCI = 0.25 \times TCI + 0.5 \times PCI + 0.25 \times VCI \quad (8)$$

TCI는 Kogan(1995)에 의해 개발된 지수로, 온도로 인한 식생의 스트레스를 결정하는 데 사용되며 온도에 대한 다양한 식생 반응을 반영하는 지수이다. 그리고 TCI는 식 9에서 정의한 바와 같이, 표준화를 통해 최대 및 최소 온도에 따라 추정된다. 또한, 0부터 1사이의 값을 가지며, 0에 가까울수록 가뭄의 정도가 크다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 경기도 지역에 대한 ASOS 온도자료를 활용하여 TCI를 산정하였다.

$$TCI = \frac{LST_{\max} - LST}{LST_{\max} - LST_{\min}} \quad (9)$$

PCI는 Du *et al.*(2013)이 제안한 지수로, 강수 부족으로 인한 가뭄 발생을 나타내는 데 활용된다. 그리고 식 10과 같이 정의되며, 강수량의 최댓값과 최솟값을 사용하여 표준화를 통해 산정된다. TCI와 마찬가지로, 해당 지수가 0과 근접할수록 가뭄이 심각하다는 것을 나타낸다. 본 연구에서는 ASOS 강수 자료를 이용하여 PCI1, PCI3 및 PCI6를 산출하였으며, PCI1, PCI3 및 PCI6는 각각 1개월, 3개월 및 6개월 누적강수량을 의미한다.

$$PCI = \frac{TRMM - TRMM_{\min}}{TRMM_{\max} - TRMM_{\min}} \quad (10)$$

마지막으로, VCI는 Kogan(1990)에 의해 제안된 지수로, 식생 활력 감소에 의한 가뭄 발생을 표현하는 데 사용된다. VCI 산정 식은 식 11과 같으며, 표준화를 통해 NDVI의 최댓값과 최솟값에 의해 산정된다. 해당 지수는 최대 및 최소 NDVI 값의 범위에 따른 식생 활력도의 상대적인 위치를 나타내며, 0에 근접할수록 스트레스를 많이 받는 식생임을 의미한다. 본 연구에서는 MODIS MOD13A2 NDVI 자료를 활용하여 VCI를 산정하였다.

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (11)$$

적 용

1. SPI 분석 결과

SPI는 강수량만을 이용해서 산정하는 식으로, 본 연구에서는 SPI를 산정하기 위해 그림 2에서 나타낸 바와 같이 티센다각형법을 적용해서 경기도지역에 영향을 주는 8개의 ASOS 관측소 지점의 강수량 자료를 사용하였다. 그림 3, 4 및 5는 각각 경기도지역의 2014년도 8개 시점(4월 7일, 4월 23일, 5월 9일, 5월 25일, 6월 10일, 6월 26일, 7월 12일, 7월 28일)을 기준으로 1개월, 3개월 및 6개월 누적강수량에 대한 SPI1, SPI3 및 SPI6를 나타낸 것이다. 해당 그림들은 산정한 SPI에 min-max 표준화를 적용하여 0~1 사이의 지수로 변환하여 나타냈다.

표 1, 2 및 3은 각각 경기도지역의 2014년도 8개 시점별 SPI1, SPI3 및 SPI6의 순위를 1위부터 5위까지 나타낸 것이다. 본 연구에서

산정한 SPI 결과가 실제 가뭄을 반영하는지 확인하기 위해 한국농어촌공사에서 제공하는 농업가뭄 관리시스템(Agricultural Drought Management System, ADMS)의 저수율 지도를 사용하였다. 표 4는 8개 시점에 대한 경기도 시군구별 저수율 단계를 구분한 것이다. 저수율 단계는 관심(blue), 주의(yellow), 경계(orange), 심각(red)의 4단계로 나누어져 있으며, 각 단계는 저수율 60% 초과~70% 이하(관심), 50% 초과~60% 이하(주의), 40% 초과~50% 이하(경계), 0~40% 이하(심각)일 때로 구분된다.

SPI1, SPI3 및 SPI6 중 SPI1이 저수율 현황과 각 시점에서 1~5위에 해당하는 행정구역이 가장 적게 일치한 반면, SPI3는 가장 많이 일치했다. 그림 3, 4 및 5를 보면, 각 시점별로 산정된 SPI가 특정 지수 범위 사이에 값이 집중해 있으며, 이는 SPI를 산정하는 데 강수량 자료만 사용하기 때문에 나타나는 특징이라고

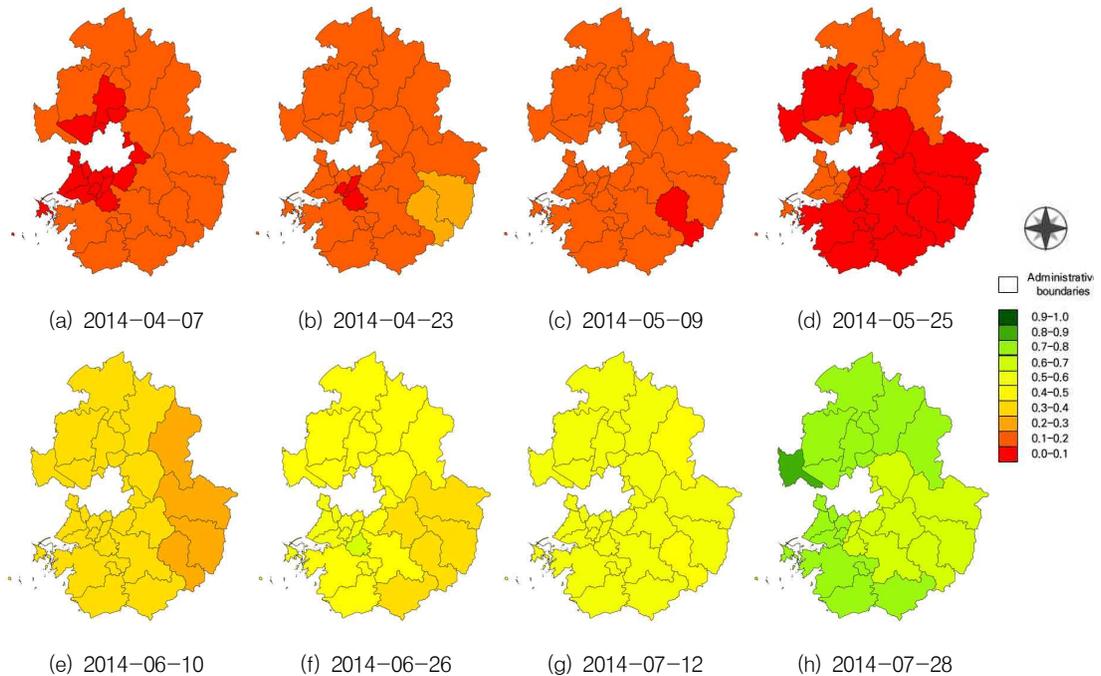


FIGURE 3. SPI1 calculated by applying the 1-month cumulative precipitation at 8 time points in 2014 in Gyeonggi

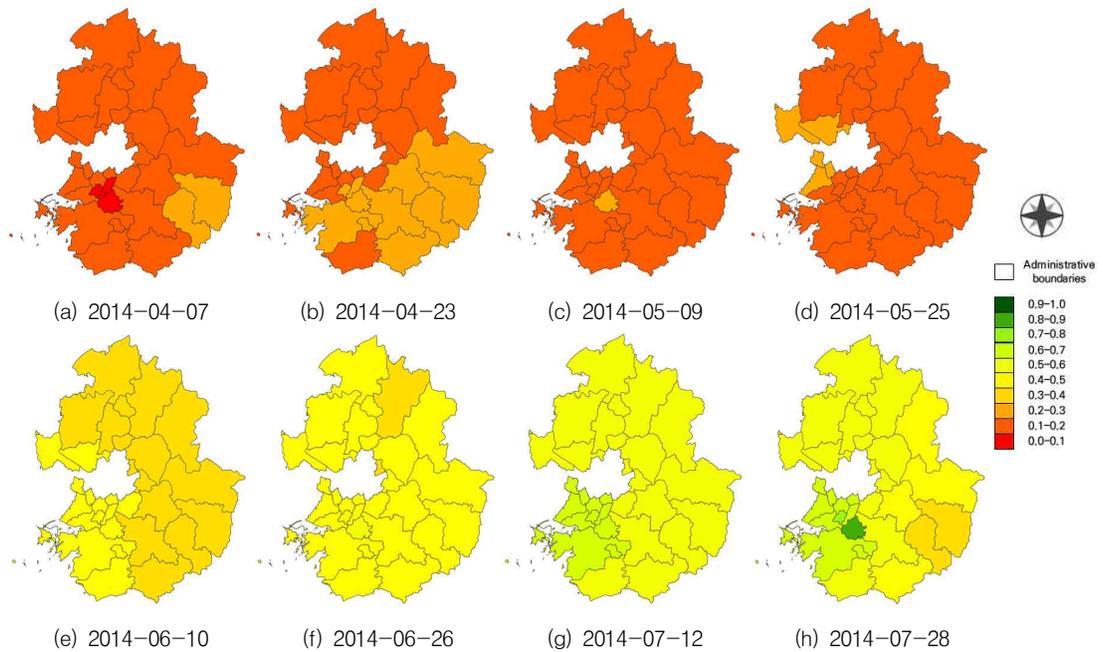


FIGURE 4. SPI3 calculated by applying the 3-month cumulative precipitation at 8 time points in 2014 in Gyeonggi

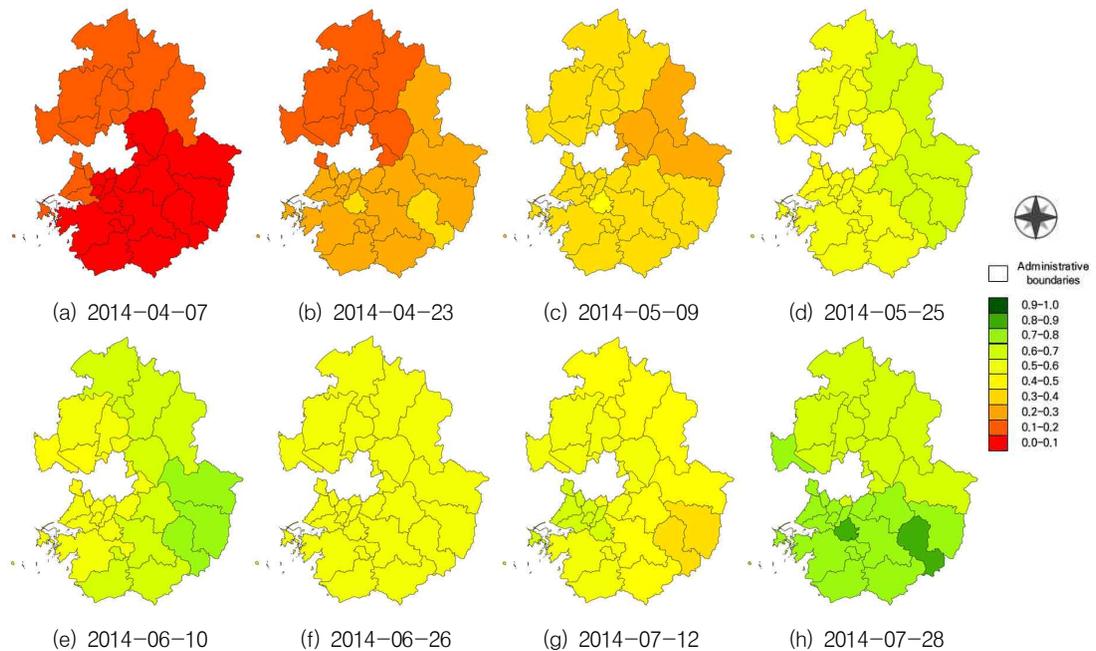


FIGURE 5. SPI6 calculated by applying the 6-month cumulative precipitation at 8 time points in 2014 in Gyeonggi

TABLE 1. SPI1 ranking by 8 time points in 2014 in Gyeonggi

| Ranking | Date | | | | | | | |
|---------|-------------|--------|-------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | 2014-04-07 | | 2014-04-23 | | 2014-05-09 | | 2014-05-25 | |
| 1 | Bucheon | 0.0550 | Gimpo | 0.0959 | Icheon | 0.0944 | Icheon | 0.0429 |
| 2 | Gwangmyeong | 0.0569 | Goyang | 0.1199 | Yeoju | 0.1105 | Yeoju | 0.0523 |
| 3 | Gwacheon | 0.0620 | Bucheon | 0.1241 | Gwangju | 0.1229 | Gwangju | 0.0617 |
| 4 | Anyang | 0.0656 | Paju | 0.1331 | Yangpyeong | 0.1349 | Yangpyeong | 0.0638 |
| 5 | Goyang | 0.0710 | Gwangmyeong | 0.1364 | Yongin | 0.1373 | Yongin | 0.0742 |

| Ranking | Date | | | | | | | |
|---------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | 2014-06-10 | | 2014-06-26 | | 2014-07-12 | | 2014-07-28 | |
| 1 | Yangpyeong | 0.2840 | Icheon | 0.3016 | Gapyeong | 0.4846 | Icheon | 0.6254 |
| 2 | Gapyeong | 0.2869 | Yeoju | 0.3297 | Icheon | 0.4929 | Yeoju | 0.6442 |
| 3 | Yeoju | 0.2933 | Yangpyeong | 0.3762 | Anseong | 0.5014 | Gwangju | 0.6556 |
| 4 | Icheon | 0.2958 | Gwangju | 0.3775 | Pyeongtaek | 0.5054 | Yangpyeong | 0.6629 |
| 5 | Gwangju | 0.3027 | Anseong | 0.3950 | Osan | 0.5056 | Yongin | 0.6781 |

TABLE 2. SPI3 ranking by 8 time points in 2014 in Gyeonggi

| Ranking | Date | | | | | | | |
|---------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | 2014-04-07 | | 2014-04-23 | | 2014-05-09 | | 2014-05-25 | |
| 1 | Suwon | 0.0891 | Gimpo | 0.1402 | Gimpo | 0.1066 | Suwon | 0.1093 |
| 2 | Uiwang | 0.0986 | Goyang | 0.1436 | Goyang | 0.1104 | Pocheon | 0.1170 |
| 3 | Gunpo | 0.0996 | Bucheon | 0.1544 | Guri | 0.1142 | Icheon | 0.1327 |
| 4 | Gwacheon | 0.1034 | Guri | 0.1568 | Pocheon | 0.1181 | Osan | 0.1334 |
| 5 | Anyang | 0.1038 | Uijeongbu | 0.1624 | Uijeongbu | 0.1208 | Yeoncheon | 0.1378 |

| Ranking | Date | | | | | | | |
|---------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | 2014-06-10 | | 2014-06-26 | | 2014-07-12 | | 2014-07-28 | |
| 1 | Pocheon | 0.3923 | Pocheon | 0.3931 | Icheon | 0.5243 | Icheon | 0.3578 |
| 2 | Guri | 0.3794 | Guri | 0.3996 | Yeoju | 0.5412 | Yeoju | 0.3981 |
| 3 | Uijeongbu | 0.3854 | Uijeongbu | 0.4098 | Gapyeong | 0.5507 | Gwangju | 0.4667 |
| 4 | Yeoncheon | 0.3956 | Yeoncheon | 0.4146 | Pocheon | 0.5578 | Yangpyeong | 0.4673 |
| 5 | Namyangju | 0.3754 | Namyangju | 0.4159 | Anseong | 0.5580 | Anseong | 0.4820 |

TABLE 3. SPI6 ranking by 8 time points in 2014 in Gyeonggi

| Ranking | Date | | | | | | | |
|---------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|-------------|--------|
| | 2014-04-07 | | 2014-04-23 | | 2014-05-09 | | 2014-05-25 | |
| 1 | Suwon | 0.0421 | Gimpo | 0.1368 | Yangpyeong | 0.2603 | Bucheon | 0.4227 |
| 2 | Icheon | 0.0488 | Goyang | 0.1631 | Gapyeong | 0.2688 | Gwangmyeong | 0.4479 |
| 3 | Osan | 0.0671 | Pocheon | 0.1684 | Namyangju | 0.2917 | Goyang | 0.4545 |
| 4 | Yongin | 0.0675 | Guri | 0.1761 | Guri | 0.2931 | Siheung | 0.4720 |
| 5 | Yeoju | 0.0683 | Uijeongbu | 0.1837 | Hanam | 0.2973 | Gwacheon | 0.4758 |

| Ranking | Date | | | | | | | |
|---------|-------------|--------|-------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | 2014-06-10 | | 2014-06-26 | | 2014-07-12 | | 2014-07-28 | |
| 1 | Bucheon | 0.4509 | Gapyeong | 0.5258 | Icheon | 0.3468 | Guri | 0.6365 |
| 2 | Gwangmyeong | 0.4811 | Gimpo | 0.5424 | Yeoju | 0.3916 | Pocheon | 0.6512 |
| 3 | Goyang | 0.4829 | Pocheon | 0.5446 | Gwangju | 0.4576 | Uijeongbu | 0.6546 |
| 4 | Gimpo | 0.4996 | Paju | 0.5460 | Yangpyeong | 0.4619 | Goyang | 0.6582 |
| 5 | Siheung | 0.5049 | Dongducheon | 0.5471 | Anseong | 0.4719 | Namyangju | 0.6619 |

TABLE 4. Classification of water storage rates by city, county, and district in Gyeonggi

| Level | Date | | | |
|--------|------------|---------------|--|--|
| | 2014-04-07 | 2014-04-23 | 2014-05-09 | 2014-05-25 |
| Blue | - | - | - | Namyangju, Gimpo |
| Yellow | - | - | Gimpo | - |
| Orange | - | - | - | - |
| Red | - | - | - | - |
| Level | Date | | | |
| | 2014-06-10 | 2014-06-26 | 2014-07-12 | 2014-07-28 |
| Blue | Paju | Pocheon, Paju | Gimpo, Yeoncheon Yeosu, Yangpyeong | Gunpo, Anseong Pocheon |
| Yellow | Namyangju | Suwon Osan | Anseong, Yongin Suwon, Hwaseong Yangju, Pocheon | Gwangju, Yeosu Yeoncheon Yangpyeong |
| Orange | - | - | Paju, Gwangju | Paju, Yangju |
| Red | - | - | Namyangju, Osan, Gunpo | Namyangju, Gimpo |

볼 수 있다. 또한, 표 1, 2 및 3의 SPI 값들은 7월에 가까워질수록 커지는데 이는 우리나라의 강수 대부분이 여름철(6~8월)에 발생하기 때문에 나타나는 결과이다. SPI가 가뭄 분석에 있어 적용이 편리하고 직관적인 가뭄의 표현이 가능하다는 장점이 있지만, 이러한 점들을 고려했을 때 SPI를 시군 단위 가뭄평가 및 비교분석에 활용하기에는 어려움이 있다.

3. SDCI 분석 결과

SDCI는 TCI, PCI 및 VCI로 식이 구성되어 있으며, 각각의 요소에 가중치를 적용하여 산정한다. 본 연구에서는 TCI와 PCI를 산정하기 위해 기상자료개방포털에서 제공하고 있는 8개 ASOS 관측소 지점별 시간별 지표온도와 강수량을 사용하였다. 산정된 지점별 평균 지표온도와 누적강수량 자료는 크리깅 기법을 적용하여 미관측 지점에 대한 공간예측을 수행하였다. VCI는 미국 지질조사국(United States Geological Survey, USGS)에서 제공하는 MODIS MOD13A2 NDVI 자료를 활용하여 산정하였다. 그리고 MODIS MOD13A2 NDVI 자료의 공간해상도와 시간해상도는 각각 1km와 16일이며, 본 연구에서는 2014년도 4~7월의 8개 시점의 자료를 사용하여 경기도 시군구별 가뭄분석을 수행하였다.

앞서 산정한 경기도 시군구별 TCI, PCI 및 VCI에 대해 min-max 표준화를 적용하여 0~1

사이의 지수로 변환한 다음, 각각의 지수에 가중치를 적용하여 SDCI를 산정하였다. 그림 6, 7 및 8은 각각 경기도지역의 2014년도 8개 시점에 대해 1개월, 3개월 및 6개월 누적강수량(PCI1, PCI3 및 PCI6)을 적용하여 산정한 SDCI1, SDCI3 및 SDCI6을 나타낸 것이다. 그리고 표 5, 6 및 7은 각각 경기도지역의 2014년도 8개 시점별 SDCI1, SDCI3 및 SDCI6의 순위를 1위부터 5위까지 나타낸 것이다. 본 연구에서 산정한 SDCI 결과가 실제 가뭄을 반영하는지 확인하기 위해 SPI와 마찬가지로 ADMS의 저수율 지도를 사용하였다.

표 5, 6 및 7과 표 4를 비교해보면, SDCI도 SPI와 마찬가지로 7월로 갈수록 저수율이 낮은 지역과 가뭄지수가 작은 지역이 일치하는 것을 확인할 수 있다. 이는 SDCI가 습윤 지역에 대한 가뭄예측 가능성을 높이는 지수임을 의미한다. 또한, SDCI는 SPI와는 달리 아래의 그림 및 표에서 표현된 바와 같이 지수가 0~1 사이에 골고루 분포해 있다. SPI의 각 시점별 산정된 1~5위 값의 간격은 매우 작아 지역별 차이가 드러나지 않지만, SDCI는 아래 그림과 표에서도 확인할 수 있듯이 행정구역별 값의 차이가 두드러지게 나타났다. 이러한 SDCI의 특징들을 고려했을 때, 해당 지수가 SPI보다 시도 단위 가뭄평가 및 비교분석에 적용하기에 적합하다는 것을 알 수 있다. 또한, 본 연구에서 산정한

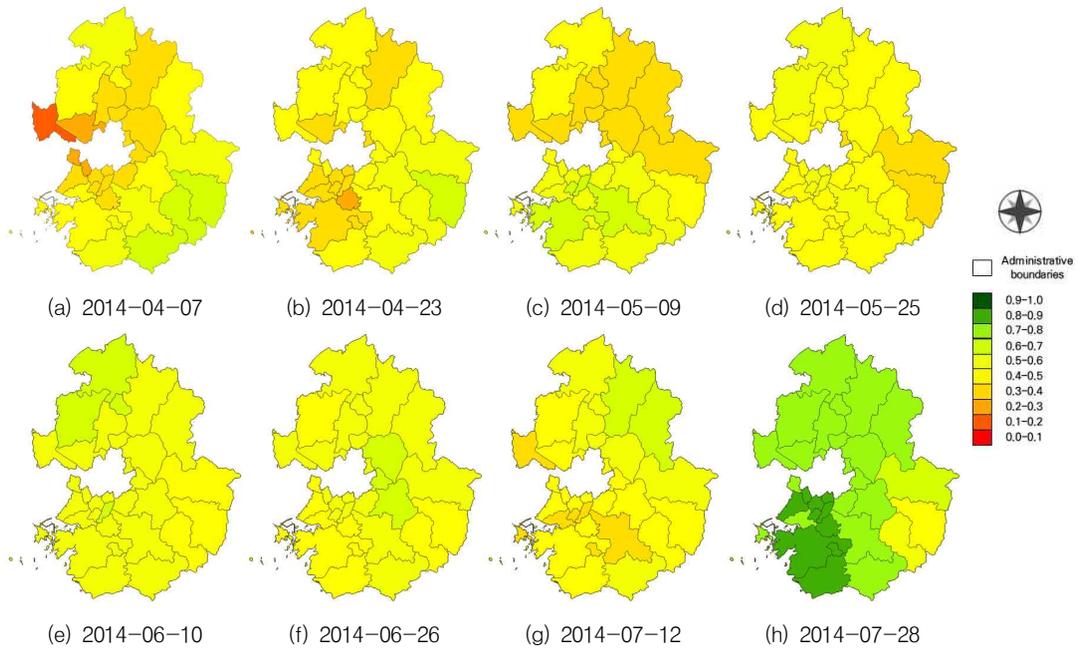


FIGURE 6. SDCI1 calculated by applying the 1-month cumulative precipitation(PCI1) at 8 time points in 2014 in Gyeonggi

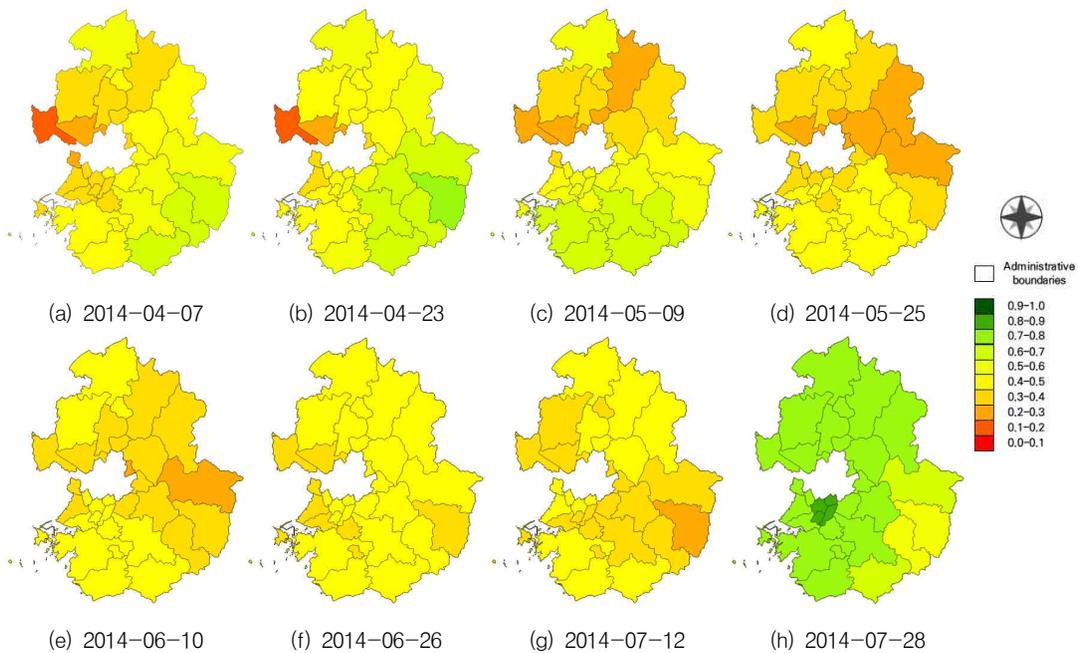


FIGURE 7. SDCI3 calculated by applying the 3-month cumulative precipitation(PCI3) at 8 time points in 2014 in Gyeonggi

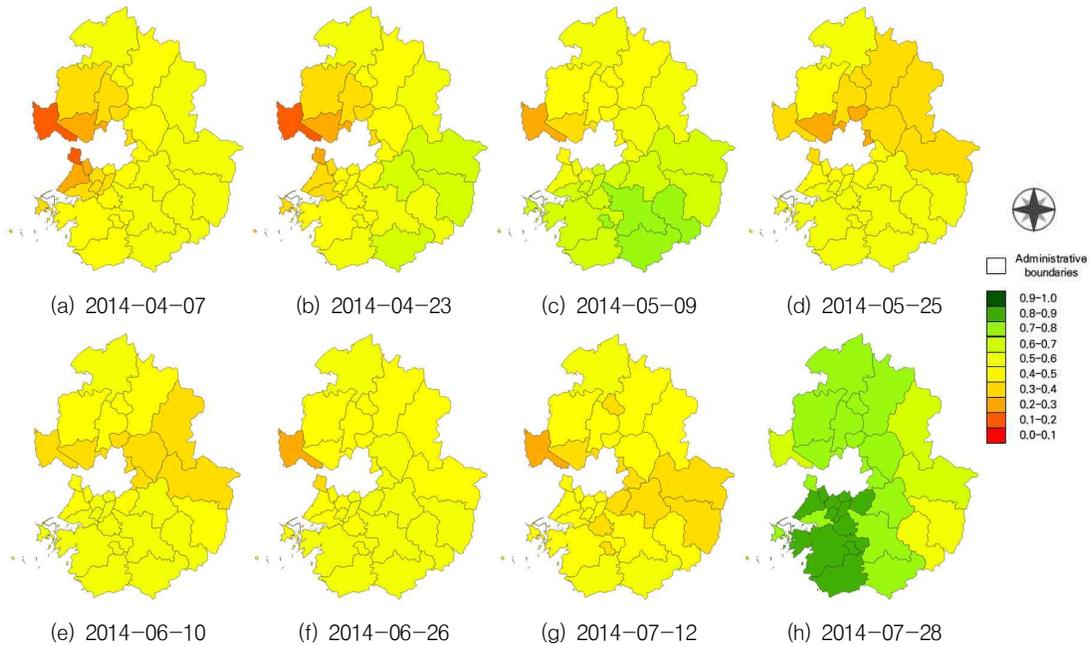


FIGURE 8. SDCI6 calculated by applying the 6-month cumulative precipitation(PCI6) at 8 time points in 2014 in Gyeonggi

SDCI1, SDCI3 및 SDCI6 중 SDCI3가 저수율 지도의 가뭄 시기와 가장 일치했다. 하지만 SDCI6의 경우, 다른 지수와 달리 1~5위 사이에 파주시가 존재하는데 이는 저수율 지도와 가뭄 관련 보도자료를 참고하여 해당 지역이 5월

과 6월에 저수율과 강수량이 낮아 가뭄이 발생했음을 파악할 수 있다. 이를 통해 SDCI6가 SDCI1과 SDCI3에서 파악하지 못하는 가뭄 분석을 보완할 수 있다는 것을 알 수 있다.

TABLE 5. SDCI1 ranking by 8 time points in 2014 in Gyeonggi

| Ranking | Date | | | | | | | |
|---------|-------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | 2014-04-07 | | 2014-04-23 | | 2014-05-09 | | 2014-05-25 | |
| 1 | Gimpo | 0.1608 | Suwon | 0.2036 | Gimpo | 0.3154 | Yeoju | 0.3550 |
| 2 | Goyang | 0.2029 | Gunpo | 0.3052 | Gapyeong | 0.3272 | Yangpyeong | 0.3585 |
| 3 | Bucheon | 0.2104 | Uiwang | 0.3474 | Pocheon | 0.3355 | Guri | 0.3848 |
| 4 | Gwangmyeong | 0.2820 | Guri | 0.3552 | Yangpyeong | 0.3547 | Icheon | 0.4143 |
| 5 | Guri | 0.3058 | Ansan | 0.3598 | Guri | 0.3593 | Pyeongtaek | 0.4358 |
| Ranking | Date | | | | | | | |
| | 2014-06-10 | | 2014-06-26 | | 2014-07-12 | | 2014-07-28 | |
| 1 | YangPyeong | 0.4109 | Gimpo | 0.3248 | Suwon | 0.3066 | Yeoju | 0.5099 |
| 2 | Yeoju | 0.4199 | Ansan | 0.4126 | Osan | 0.3245 | Icheon | 0.5235 |
| 3 | Icheon | 0.4722 | Osan | 0.4376 | Gimpo | 0.3386 | Yangpyeong | 0.6831 |
| 4 | Hanam | 0.5004 | Suwon | 0.4447 | Gunpo | 0.3728 | Guri | 0.7044 |
| 5 | Pyeongtaek | 0.5020 | Hwaseong | 0.4504 | Yongin | 0.3926 | Anseong | 0.7200 |

TABLE 6. SDCI3 ranking by 8 time points in 2014 in Gyeonggi

| Ranking | Date | | | | | | | |
|---------|-------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | 2014-04-07 | | 2014-04-23 | | 2014-05-09 | | 2014-05-25 | |
| 1 | Gimpo | 0.1554 | Gimpo | 0.1671 | Gimpo | 0.2165 | Guri | 0.2280 |
| 2 | Goyang | 0.2553 | Goyang | 0.2924 | Goyang | 0.2698 | Uijeongbu | 0.2748 |
| 3 | Bucheon | 0.2680 | Bucheon | 0.3274 | Uijeongbu | 0.2860 | Goyang | 0.2787 |
| 4 | Siheung | 0.3152 | Siheung | 0.3749 | Pocheon | 0.2976 | Yangpyeong | 0.2902 |
| 5 | Gwangmyeong | 0.3352 | Guri | 0.3876 | Guri | 0.3035 | Namyangju | 0.2911 |

| Ranking | Date | | | | | | | |
|---------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | 2014-06-10 | | 2014-06-26 | | 2014-07-12 | | 2014-07-28 | |
| 1 | Yangpyeong | 0.2663 | Gimpo | 0.3073 | Yeoju | 0.2455 | Yeoju | 0.5052 |
| 2 | Guri | 0.2954 | Yeoju | 0.3578 | Yangpyeong | 0.3103 | Icheon | 0.5344 |
| 3 | Gapyeong | 0.3046 | Bucheon | 0.3698 | Gwangju | 0.3107 | Anseong | 0.6779 |
| 4 | Hanam | 0.3153 | Ansan | 0.3870 | Icheon | 0.3204 | Yangpyeong | 0.6848 |
| 5 | Yeoju | 0.3331 | Osan | 0.3932 | Osan | 0.3332 | Gimpo | 0.7105 |

TABLE 7. SDCI6 ranking by 8 time points in 2014 in Gyeonggi

| Ranking | Date | | | | | | | |
|---------|-------------|--------|-------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | 2014-04-07 | | 2014-04-23 | | 2014-05-09 | | 2014-05-25 | |
| 1 | Gimpo | 0.1430 | Gimpo | 0.1332 | Gimpo | 0.2393 | Goyang | 0.2764 |
| 2 | Bucheon | 0.1875 | Goyang | 0.2035 | Goyang | 0.3254 | Guri | 0.2831 |
| 3 | Goyang | 0.2227 | Bucheon | 0.2085 | Bucheon | 0.4032 | Uijeongbu | 0.2960 |
| 4 | Siheung | 0.2662 | Siheung | 0.3026 | Paju | 0.4204 | Gimpo | 0.3043 |
| 5 | Gwangmyeong | 0.2908 | Gwangmyeong | 0.3214 | Yangju | 0.4211 | Yangju | 0.3288 |

| Ranking | Date | | | | | | | |
|---------|------------|--------|------------|--------|-------------|--------|------------|--------|
| | 2014-06-10 | | 2014-06-26 | | 2014-07-12 | | 2014-07-28 | |
| 1 | Gapyeong | 0.3351 | Gimpo | 0.2833 | Gimpo | 0.2953 | Yeoju | 0.5275 |
| 2 | Guri | 0.3522 | Bucheon | 0.3990 | Dongducheon | 0.3715 | Icheon | 0.5928 |
| 3 | Yangpyeong | 0.3563 | Goyang | 0.4138 | Guri | 0.3742 | Yangpyeong | 0.6465 |
| 4 | Gimpo | 0.3755 | Pocheon | 0.4344 | Hanam | 0.3747 | Gimpo | 0.6592 |
| 5 | Goyang | 0.3777 | Paju | 0.4366 | Gwangju | 0.3761 | Gapyeong | 0.6698 |

결론

본 연구에서는 지점자료기반 가뭄지수인 SPI와 ASOS 지점자료, MODIS 위성영상자료를 가지고 산정한 SDCI를 비교분석하였다. 해당 가뭄지수들의 적용을 위해 공간적으로는 경기도 지역의 31개 시군을 대상으로 분석을 수행하였으며, 2014년 4~7월 사이에서 MODIS MOD13A2 NDVI 위성영상자료를 얻을 수 있는 8개 시점에 대하여 가뭄을 분석하였다. 강수량의 경우, 일(daily)단위 자료를 활용하여 1개월, 3개월 및 6개월 누적강수량을 산정하여 적용하였다. 본 연구에서 산정한 SPI와 SDCI를 검증하기

위하여 저수율 지도에 나타난 저수율 단계를 활용하여 비교하였다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

기존의 SDCI는 위성영상으로 얻을 수 있는 강수량, 지표온도 및 식생지수를 반영하여 산정한다. 하지만, 본 연구에서 산정한 SDCI의 경우 지점자료와 위성영상자료의 장점을 각각 반영하여 지수를 산정하였다. 강수량과 지표온도는 지점자료를 사용했으며, 식생지수는 위성영상자료를 활용했다. 그리고 본 연구에서는 가뭄지수의 활용성을 검증하기 위해 8개 시점에 대해 결과로 제시된 SPI와 SDCI를 저수율 지도에서 추출한 관심, 주의, 경계, 심각 단계에 해당하는

행정구역과 비교분석하였다. 분석 결과, SDCI가 SPI에 비해 저수율 지도의 양상과 유사하게 나타났으며, SPI와 달리 SDCI는 약 두 달 전부터 가뭄양상을 나타내기 시작하였으며 시점별 행정구역별 가뭄지수의 구분을 뚜렷하게 잘 드러냈다. 또한, 본 연구의 결과를 통해 지점자료와 위성영상자료의 결합이 가뭄지수의 시점별 변화에 있어 효율성을 증대시켰으며, 건조 지역뿐만 아니라 습윤 지역에 대해 가뭄예측 가능성을 증가시켰음을 파악할 수 있었다. 이러한 점들을 반영하여 본 연구에서 산정한 SDCI는 기존 국내 기상청에서 대표적으로 사용하고 있는 가뭄지수 SPI를 대체해서 우리나라 가뭄평가에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

이러한 점으로 미루어 봤을 때, 본 연구에서 제시된 SDCI는 위성영상자료를 활용하여 산정하는 기존 SDCI를 보완하기 위해 지점자료를 고려했다는 점에서 그 가치가 높으며, 국내 가뭄 예·경보 및 평가에 활용하면 더 정확한 가뭄상황 판단이 가능할 것으로 사료된다. 또한, 본 연구에서는 시군 단위로 SDCI를 산정하여 가뭄분석을 수행하였는데, 위성영상자료와 격자기반의 강수량 및 지표온도 자료를 활용하면 특정 구역에서의 가뭄정보 및 신뢰성 있는 분석결과를 얻을 수 있는 지수로의 역할이 가능할 것으로 판단된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Anderson, M.C., Hain, C., Wardlow, B., Pimsetin, A., Mecikalski, J.R., and Kustas, W.P. 2011. Evaluation of Drought Indices Based on Thermal Remote Sensing of Evapotranspiration over the Continental United States. *Journal of Climate*. 24(8): 2025–2044.
- Choi, J.G. 2019. Drought Characteristics Analysis Using Standard Precipitation Index(SPI) (Case Study in Chungbuk and Neighboring Areas). Doctoral Thesis of Korea National University of Transportation. 174pp (최정구. 2019. 표준강수지수(SPI)를 이용한 가뭄특성 분석(충북 및 인근지역을 대상으로). 한국교통대학교 일반대학원 박사학위 논문. 174쪽).
- Du, L., Tian, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P., and Huang, Y. 2013. A Comprehensive Drought Monitoring Method Integrating MODIS and TRMM Data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 23(1): 245–253.
- Hernandez, E.A. and Uddameri, V. 2013. Standardized Precipitation Evaporation Index (SPEI)-based Drought Assessment in Semi-arid South Texas. *Environmental Earth Sciences*. 71(6):2491–2501.
- Hong, S.Y., Hur, J.N., Ahn, J.B., Lee, J.M., Min, B.K., Lee, C.K., Kim, Y.H., Lee, K.D., Kim, S.H., Kim, G.Y., and Shim, K.M. 2012. Estimating Rice Yield Using MODIS NDVI and Meteorological Data in Korea. *Korean Journal of Remote Sensing*. 28(5):509–20 (홍석영, 허지나, 안중배, 이지민, 민병길, 이충근, 김이현, 이경도, 김선화, 김건엽, 심교문. 2012. MODIS NDVI와 기상자료를 이용한 우리나라 벼 수량 추정. *대한원격탐사학회지* 28(5):509–20).
- Hong, S.Y., Na, S.I., Lee, K.D., Kim, Y.S., and Baek, S.C. 2015. A Study on Estimating Rice Yield in DPRK Using MODIS NDVI and Rainfall Data. *Korean Journal of Remote Sensing*. 31(5):441–448 (홍석영, 나상일, 이경도, 김용석, 백신철. 2015. MODIS NDVI와 강수량 자료를 이용한 북한의 벼 수량 추정 연구. *대한원격탐사학회지* 31(5):441–448).
- Jeong, J.H., Kim, D.E., and Choi, M.H. 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 (정재환, 김다운, 최민하. 2017. 가뭄 모니터링을 위한 천리안 해양관측위성의 활용성 연구. 한국방재학회논문집 17(3):69-77).
- Jung, J.H. 2021. A Study on Development and Application of Bigdata Drought Index. Master Thesis of Seokyeong University. 125pp (정진홍. 2021. 빅데이터 가뭄지수의 개발 및 적용에 관한 연구. 서경대학교 대학원 석사학위 논문. 125쪽).
- Jung, J.H., Park, D.H., and Ahn, J.H. 2020. Drought evaluation using unstructured data: a cases study for Boryeong area. Journal of Korea Water Resources Association. 53(12):1203-1210 (정진홍, 박동혁, 안재현. 2020. 비정형 데이터를 활용한 가뭄평가 - 보령지역을 중심으로 -. 한국수자원학회 논문집 53(12):1203-1210).
- Kim, D.J. 2017. Feasibility Study on Agricultural Drought Index for Field Scale Applications. Doctoral Thesis of Kyung Hee University. 96pp (김대준. 2017. 농업가뭄지수의 개발과 필지단위 적용성 평가. 경희대학교 대학원 박사학위 논문. 96쪽).
- Kim, H.Y., Zhang, X.H., Cho, J.H., and Joo, J.G. 2020. Analysis of Regional Drought Correlation Using Drought Indicators. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation. 20(6):283-290 (김하룡, 장현휘, 조지현, 주진걸. 2020. 가뭄지표를 활용한 지역별 가뭄 상관성 분석. 한국방재학회 논문집 20(6):283-290).
- Kim, J.H. 2017. A Comparative Study of Meteorologic Drought Index and Socioeconomic Drought Index, with Focus on the Gangwon Region. Master Thesis of Kangwon National University. 108pp (김진혁. 2017. 기상학적 가뭄지수와 사회경제적 가뭄지수의 비교 연구 (강원지역을 중심으로). 강원대학교 방재전문대학원 석사학위논문. 108쪽).
- Kim, J.H., Lee, S.H., and Kim, B.S. 2018. An Assessment of Past and Future Droughts in North Korea Using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. 2018 Crisis and Emergency Management : Theory and Praxis. 14(2):139-151 (김진혁, 이석호, 김병식. 2018. 표준강수증발산량지수(SPEI)를 이용한 북한지역 과거와 미래 가뭄 평가. 2018 위기관리 이론과 실천 14(2):139-151).
- Kim, S.H. and Chung, E.S. 2017. Peak Drought Index Analysis of Cheongmicheon Watershed Using Meteorological and Hydrological Drought Index. Journal of Korea Water Resources Association. 50(1):65-73 (김수현, 정은성. 2017. 기상학적 및 수문학적 가뭄지수를 이용한 청미천 유역의 침투가뭄지수 분석. 한국수자원학회 논문집 50(1):65-73).
- Kim, S.W., Kim, M.K., Jung, D.H., and Yoo, D.G. 2019. Identifying the Critical Drought Impact Factor with Feature Selection Approaches. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation. 19(7):511-518 (김선우, 김민기, 정동휘, 유도근. 2019. 특징선택기법을 이용한 가뭄영향인자 분석. 한국방재학회 논문집 19(7):511-518).
- Kogan, F.N. 1990. Remote Sensing of Weather Impacts on Vegetation in Non-homogeneous Areas. International Journal of Remote Sensing. 11(8):1405-1419.
- Kogan, F.N. 1995. Application of Vegetation Index and Brightness Temperature for Drought Detection. Advances in Space

- Research. 15(11):91-100.
- Kogan, F.N. 2001. Operational Space Technology for Global Vegetation Assessment. Bulletin of the American Meteorological Society. 82(9):1949-1964.
- K-water. 2021. 가뭄정보분석 연간보고서. 환경부.
- Kwon, H.J., Lim, H.J. and Kim, S.J. 2007. Drought Assessment of Agricultural District using Modified SWSI. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies. 10(1):22-34 (권형중, 임혁진, 김성준. 2007. SWSI 가뭄지수를 보완한 농촌용수구역 단위의 가뭄 평가. 한국지리정보학회지 10(1):22-34).
- Kwon, J.J. 2013. Improvement of the Classification Standard of Drought Index for the Korean Peninsula. Master Thesis of Seokyeong University. 97pp (권진주. 2013. 국내 가뭄지수 분류기준의 개선방안 제시. 서경대학교 대학원 석사학위논문. 97쪽).
- Lee, J.J. and Kim, C.J. 2011. Derivation of Drought Severity-Duration-Frequency Curves Using Drought Frequency Analysis. Journal of Korea Water Resources Association. 44(11):889-902 (이주현, 김창주. 2011. 가뭄빈도해석을 통한 가뭄심도-지속시간-생기빈도 곡선의 유도. 한국수자원학회 논문집 44(11):889-902).
- Lee, J.W. 2012. Drought Indices Assessment using the Drought Records and Development of the Modified Drought Index by Considering Effects of the Dry Period and Rainfall. Master Thesis of Kyungpook National University. 93pp (이준원. 2012. 가뭄관측기록의 정량화를 통한 가뭄지수평가와 무강수일수 정보를 이용한 가뭄지수 개선. 경북대학교 대학원 석사학위논문. 93쪽).
- Lee, S.K. 2021. Development of Agricultural Water Demand and Supply Drought Index (AWDSI). Doctoral Thesis of Kongju National University. 126pp (이상권. 2021. 농업용수 수급 가뭄지수 개발. 공주대학교 대학원 박사학위 논문. 126쪽).
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, 179-184.
- Na, S.I., Park, C.W., So, K.H., Park, J.M., and Lee, K.D. 2017. Development of Garlic & Onion Yield Prediction Model on Major Cultivation Regions Considering MODIS NDVI and Meteorological Elements. Korean Journal of Remote Sensing. 33(5):647-659 (나상일, 박찬원, 소규호, 박재문, 이경도. 2017. MODIS NDVI와 기상요인을 고려한 마늘·양파 주산단지 단수예측 모형 개발. 대한원격탐사학회지 33(5):647-659).
- Nam, W.H., Tsegaye Tadesse, Wardlow, B.D., Jang, M.W., and Hong, S.Y. 2015. Satellite-based Hybrid Drought Assessment using Vegetation Drought Response Index in South Korea (VegDRI-SKorea). Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers. 57(4):1-9 (남원호, Tsegaye Tadesse, Brian D. Wardlow, 장민원, 홍석영. 2015. 식생가뭄반응지수 (VegDRI)를 활용한 위성영상 기반 가뭄 평가. 한국농공학회 논문집 57(7):1-9).
- NDMI. 2016. Development of Fundamental Technologies for Disaster Analysis and Application Based on Mid-resolution Satellite Imagery. National Disaster Management Research Institute (국립재난안전연구원. 2016.

- 중해상도 위성영상을 활용한 재난분석 활용 기반기술 개발(I)).
- Park, J.S., Kim, K.T., Lee, J.H., and Lee, K.S. 2006. Applicability of Multi-Temporal MODIS Images for Drought Assessment in South Korea. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 9(4):176-192 (박정술, 김경탁, 이진희, 이규성. 2006. 봄 가뭄 평가를 위한 다중시기 MODIS 영상의 적용성 분석. *한국지리정보학회지* 9(4):176-192).
- Park, M.J., Choi, Y.S., Shin, H.J., Lee, Y.J., and Yu, S.J. 2017. Applyinh Terra MODIS Satellite Image to Analysis of Current State of Upland Field. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 20(3):1-11 (박민지, 최영순, 신형진, 이영준, 유순주. 2017. 한국지리정보학회지 20(3):1-11).
- Park, S.Y., Lee, S.W., Kim, T.H., and Choi, J.M. 2020. Analysis of Seasonal Effects between Drought Intensity and the Frequency of Forest Fires. *The Geographical Journal of Korea*. 54(3):299-309 (박선엽, 이상원, 김태희, 최진무. 2020. 가뭄 강도와 산불 발생 빈도 간의 계절적 영향 분석. *국토지리학회지* 54(3):299-309).
- 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*. 114(12):2875-2887.
- Ryu, J.S., Ahn, J.H., and Kim, S.D. 2012. An Application of Drought Severity-Area-Duration Curves Using Copulas-Based Joint Drought Index. *Journal of Korea Water Resources Association*. 45(10):1043-1050 (류정수, 안재현, 김상단. 2012. Copulas 기반의 결합가뭄지수를 이용한 가뭄 심도-영향면적-지속기간 곡선의 적용. *한국수자원학회 논문집* 45(10):1043-1050).
- Shin, H.J., Park, M.J., Hwang, E.H., Chae, H.S., and Park, S.J. 2015. A Study of Spring Drought Using Terra MODIS Satellite Image. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 18(4):145-157 (신형진, 박민지, 황의호, 채효석, 김성준. 2015. Terra MODIS 위성영상을 이용한 봄 가뭄 연구-소양강댐유역을 대상으로-. *한국지리정보학회지* 18(4):145-157).
- Shin, J.H., Kim, J.K., Yeom, M.K., and Kim, J.P. 2021. Analysis of Drought Vulnerable Areas using Neural-Network Algorithm. *Journal of the Society of Disaster Information*. 17(2):329-340 (신정훈, 김준경, 염민교, 김진평. 2021. 인공신경망 알고리즘을 활용한 가뭄 취약지역 분석. *한국재난정보학회 논문집* 17(2):329-340).
- Shin, J.Y., Kim, J.E., Lee, J.H., and Kim, T.W. 2019. Meteorological Drought Outlook with Satellite Precipitation Data Using Bayesian Networks and Decision-making Model. *Journal of Korea Water Resources Association*. 52(4):279-289 (신지예, 김지은, 이주현, 김태웅. 2019. 베이지안 네트워크 및 의사결정 모형을 이용한 위성 강수량자료 기반 기상학적 가뭄 전망. *한국수자원학회 논문집* 52(4):279-289).
- UNIST. 2016. 우주핵심기술개발사업 최종보고서. 미래창조과학부 한국연구재단.
- 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*. 49(6):509-518 (원광재, 정은성. 2016. 기

상학적, 농업학적, 수문학적 가뭄지수를 이용한 청미천 유역의 가뭄 분석. 한국수자원학회 논문집 49(6):509-518).

- Yoo, J.Y., So, B.J., Kwon, H.H., and Kim, T.W. 2020. Development of Drought Map Based on Three-dimensional Spatio-temporal Analysis of Drought. Journal of the Korean Society of Civil Engineers. 40(1):25-33 (유지영, 소병진, 권현한, 김태웅. 2020. 가뭄사상에 대한 3차원적 시공간 분석을 통한 가뭄지도 개발. 대한토목학회지 40(1):25-33).
- Yoon, D.H. 2021. Estimation of High-Resolution Drought Indices Using Multiple-Satellite Images and Spatiotemporal Characteristics Analysis. Master Thesis of Hankyong National University. 72pp (윤동현. 2021.

다중위성영상을 이용한 고해상도 가뭄지수 산정 및 시공간적 특성 분석. 환경대학교 대학원 석사학위논문. 72쪽).

- Yoon, D.H., Nam, W.H., Lee, H.J., Hong, E.M., Kim, T.G., Kim, D.E., Shin, A.K., and Svoboda, M.D. 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): 121131 (윤동현, 남원호, 이희진, 홍은미, 김태곤, 김대의, 신안국, Mark D. Svoboda. 2018. 위성영상기반 농업가뭄 모니터링을 위한 Evaporative Stress Index (ESI)의 적용성 평가. 한국농공학회 논문집 60(6):121-131). [KAGIS](#)