



Agricultural drought monitoring using the satellite-based vegetation index

Baek, Seul-Gi^a · Jang, Ho-Won^a · Kim, Jong-Suk^b · Lee, Joo-Heon^{c*}

^aDept. of Civil Engineering Joongbu University, Goyang 10279, Korea

^bUrban Flood Research Institute, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

^cDept. of Civil Engineering Joongbu University, Goyang 10279, Korea

Paper number: 15-103

Received: 14 December 2015; Revised: 11 February 2016 / 22 February 2016; Accepted: 22 February 2016

Abstract

In this study, a quantitative assessment was carried out in order to identify the agricultural drought in time and space using the Terra MODIS remote sensing data for the agricultural drought. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Enhanced Vegetation Index (EVI) were selected by MOD13A3 image which shows the changes in vegetation conditions. The land cover classification was made to show only vegetation excluding water and urbanized areas in order to collect the land information efficiently by Type1 of MCD12Q1 images. NDVI and EVI index calculated using land cover classification indicates the strong seasonal tendency. Therefore, standardized Vegetation Stress Index Anomaly (VSIA) of EVI were used to estimate the medium-scale regions in Korea during the extreme drought year 2001. In addition, the agricultural drought damages were investigated in the country's past, and it was calculated based on the Standardized Precipitation Index (SPI) using the data of the ground stations. The VSIA were compared with SPI based on historical drought in Korea and application for drought assessment was made by temporal and spatial correlation analysis to diagnose the properties of agricultural droughts in Korea.

Keywords: DROUGHT, EVI, MODIS, NDVI, VSIA

위성기반의 식생지수를 활용한 농업적 가뭄감시

백슬기^a · 장호원^a · 김종석^b · 이주헌^{c*}

^a중부대학교 대학원 토목공학과, ^b서울시립대학교 도시홍수연구소, ^c중부대학교 공과대학 토목공학과

요 지

본 연구에서는 농업적 가뭄을 시, 공간적으로 파악하기 위하여 Terra의 MODIS 원격탐사 자료를 활용하여 가뭄의 정량적 평가를 실시하였다. 여러 가지 위성영상 중에서 식생 상태의 변화가 관찰되는 MOD13A3 영상을 통하여 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)와 EVI (Enhanced Vegetation Index)를 선정하였으며, 토지정보를 효율적으로 수집할 수 있는 MCD12Q1 영상의 Type1을 통하여 물, 도심지역 등을 제외한 식생부분만을 나타낼 수 있도록 토지피복분류를 하였다. 토지피복분류된 자료를 이용하여 NDVI와 EVI를 중권역별로 선정하여 나타난 결과 계절적인 성향이 강하게 나타나 이를 보완하고자 EVI의 표준화 지수인 VSIA (Vegetation Stress Index Anomaly)를 우리나라의 극심한 가뭄 해인 2001년에 대하여 중권역별로 선정하였다. 또한, 과거 우리나라의 농업가뭄 피해를 조사하였으며, 지상강우관측소의 자료를 통하여 SPI (Standardized Precipitation Index)를 중권역별로 선정하였다. SPI와 위성영상의 표준화 지수인 VSIA를 우리나라의 농업적 가뭄피해 연도와 비교하였으며, VSIA의 시공간적 분석을 통해 한반도의 농업적 가뭄을 평가할 수 있는 활용성 및 적용 가능성을 검토하였다.

핵심용어: 가뭄, 개량식생지수, MODIS, 정규식생지수, VSIA

*Corresponding Author. Tel: +82-31-8075-1615
E-mail: leejh@joongbu.ac.kr (J.-H. Lee)

1. 서론

최근 지구온난화에 따른 기후변화의 영향으로 기상이변으로 인한 자연재해가 과거에 비해 빈번히 발생되고 있다(IPCC, 2014). 특히, 가뭄의 경우, 홍수 등의 다른 수문학적 재해에 비해 상대적으로 장기간에 걸쳐 피해를 유발하여 그 피해가 심각한 것으로 나타나고 있으며, 국내에서도 2014년에 이어 2015년에는 절반 수준에 미치지 못하는 강우가 발생하여 강원영서를 비롯한 경기북부 지방을 중심으로 봄 가뭄, 마른장마가 초래되어 사회적으로 미치는 영향이 계속 심화되고 있는 실정이다(Son et al., 2015).

가뭄은 자연재난 중 다른 재난에 비해 영향면적이 넓으며, 시간적으로도 장기간에 걸쳐 느린 속도로 영향을 미치게 된다(Wilhite, 2000; Lee et al., 2013). 평년보다 높은 이상고온 현상의 지속, 강우의 부족 등의 이상 기후 현상은 최근 들어 광범위하게 발생하고 있으며, 기후변화를 고려한 다양한 모델의 예측치들은 가뭄 재해가 앞으로 더 심각해질 수 있다는 전망을 하고 있다(IPCC, 2014). 현재 우리나라는 기후변화로 인한 이상기후의 영향으로 마른장마, 봄 가뭄 등 이상가뭄이 빈발하고 발생되고 있으며, 90년 이후로 남부지역을 중심으로 겨울에서 봄까지의 가뭄인 횡수가 점점 증가하고 있는 실정이다(Kim and Lee, 2011).

2000년 이후 발생하고 있는 한반도의 봄 가뭄을 효과적으로 탐지하고 평가하기 위한 새로운 영상자료의 활용이 요구되고 있으며, 봄철의 식생변화를 효과적으로 탐지하기 위하여 NOAA AVHRR NDVI에 비해 향상된 자료 특성을 갖는 MODIS 영상자료의 활용이 대두되고 있다(Kim and Park, 2006; 2010).

Park et al. (2005)와 Shin (2005)는 정규식생지수(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) 시계열과 강우량을 비교하였으며, PDSI, SPI와 같은 기상학적 가뭄지수와 식생지수와 상관관계를 분석하였다. 이를 통해 식생지수는 약 한 달의 지체시간을 갖고 강우량 및 기상학적 가뭄지수와 상관성이 있음을 제시하였으며(Shin, 2005), 가뭄이 발생한 해의 식생지수는 강우량 및 가뭄지수와 상관성을 갖으나 가뭄이 발생하지 않은 해에는 식생지수와 강우량 사이에 큰 상관성이 존재하지 않음을 제시하였다(Park et al., 2005).

원격탐사자료를 이용한 식생의 분석에 사용되는 NDVI는 가시광선 영역의 적색광 밴드에서 식물의 반사율이 낮은 특성과 근적외선 영역에서 식물의 반사율이 높은 특성을 바탕으로 두 밴드의 반사율 차이를 이용하여 나타낸 식생지수 중 하나이다. 이러한 NDVI는 전 지구적으로 식생량 및 식생의 건강

상태, 농작물 생산량 추정 등에 효과적으로 사용되고 있으며, 환경의 변화에 대한 현상을 분석하는데 높은 잠재력을 보이고 있다(Kogan, 1990; Eidenshink, 1992; Kogan et al., 2003). 2000년 이후 자료제공이 시작된 MODIS NDVI의 경우 NOAA AVHRR NDVI에 비해 공간해상도가 높고 밴드폭이 좁고 다양하기 때문에 식생의 변화를 관측하기에 용이하다. 따라서 본 연구에서는 농업 가뭄의 시공간적 분석을 위하여 Terra 위성의 MODIS 영상자료를 이용하여 NDVI와 EVI (Enhanced Vegetation Index)를 산정하였으며, 과거 우리나라의 농업가뭄 피해조사 자료와 지상관측소의 자료를 통하여 산정된 SPI 가뭄지수와 비교 분석을 실시하였다. 식생지수의 계절적 성향을 제거하여 정량적 비교 분석을 위하여 VSIA (Vegetation Stress Index Anomaly)를 우리나라의 가뭄사상과 비교하였으며, 상관분석 및 시공간적 분석을 통해 위성영상을 활용한 우리나라의 농업가뭄에 대한 적용성을 평가하였다.

2. 연구방법

2.1 Terra MODIS

Terra 위성은 미국 항공우주국(NASA, National Aeronautics and Space Administration)을 중심으로 운영되고 있는 지구 관측시스템(EOS, Earth Observing System)에서 1999년에 발사되어 운용 중에 있다. Terra 위성에는 다섯 종류의 센서가 탑재되어 있는데, 이들을 통해 지구의 대기, 지표면, 대양, 눈과 얼음, 에너지 수지를 관찰하여 생물지구화학적인 자료를 수집한다. 각각의 센서는 특정 목적을 위해 개발되었다.

- ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)
- CERES (Clouds and Earth's Radiant Energy System)
- MISR (Multi-angle Imaging SpectroRadiometer)
- MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer)
- MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere)

MODIS 센서는 Terra (EOS AM), Aqua (EOS PM) 위성이 동일하게 가지고 있는 센서로 Terra MODIS는 지구 전체를 36개 분광특성을 가지고 하루 혹은 이틀에 한번씩 지구 표면을 관측한다. 약 40개의 자료(MOD1~MOD40)를 생산하는데 다중 데이터의 유형을 지원할 수 있고 간편하고 구현이 쉬운 HDF-EOS 형태로 제공된다.

NASA에서는 MODIS 자료를 무료로 제공하는데 level

1,2,3으로 나뉜다. 대부분의 MODIS 센서가 Level-3 표준 산출물로 지표면 온도와 식생지수를 생산하고 있다. MODIS는 태양동주기(sun-synchronous) 궤도를 가지고 있으며, 위성의 고도는 705 km이다. MODIS 센서는 총 36개의 밴드를 가지고 0.4 μm 에서 14.4 μm 파장 영역을 스캔한다. 이 중 2개의 밴드는 250 \times 250 m 공간해상도를 가지며 5개의 밴드는 500 \times 500 m, 나머지 29개 밴드는 1 \times 1 km 공간해상도를 가진다. 본 연구에서는 MODIS의 MOD13A3 영상을 통해 식생지수인 NDVI와 EVI를 산정하였다. MOD13A3 영상 센서 Level-3 산출물인 식생지수를 1 \times 1 km 공간해상도로 영상을 다운받아 활용하였다.

2.2 MODIS영상 구축 과정

Terra 위성에서 생산되는 자료는 미국 NASA의 NSIDC (National Snow & Ice Data Center)의 DAAC (Distributed Active Archive Center)에서 관리된다. NASA에서는 MODIS 위성영상을 여러 가지 알고리즘을 통해 가공하여 다양한 영상 및 자료를 제공하고 있다. 사용자는 원하는 자료를 검색하고 FTP (File Transfer Protocol)을 이용하여 자료를 내려 받을 수 있다. 내려 받은 자료는 MODIS Projection Tool을 이용하여 원하는 영상을 추출 및 구축할 수 있다. 추출한 영상은 GIS 소프트웨어를 적용하여 실무에 적용할 수 있다.

2.3 식생지수를 이용한 가뭄감시 방법

2.3.1 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

위성영상 기반의 식생지수 중 하나인 NDVI는 식생의 활성도를 나타내는 지표로 원격탐사에서 널리 사용되는 지표중 하나이다(Rouse, 1974). NDVI는 가뭄으로 인해 식물이 필요로 하는 물이 부족해지는 경우 식생상태의 변화가 비교적 잘 관찰되므로 건강한 식생과 시들은 식생에서 나타나는 근적외선 영역에서의 반사율(ρ_{NIR})과 가시광선 영역 중 적색광 영역(ρ_{RED})에서의 반사도의 변화를 이용하여 나타낼 수 있다.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (1)$$

2.3.2 EVI (Enhanced Vegetation Index)

EVI는 생체량이 많은 지역에서 식물의 신호값을 효과적으로 파악하기 위해 개발되었으며 청색광, 적색광, 근적외선을 함께 사용하여 대기효과 보정상수, 토양효과 보정상수, 에어로졸 제거를 위한 유효계수 등을 사용하여 식물의 반사값에 영향을 주는 토양의 배경효과와 대기영향을 감소시켜 향상된

식생 모니터링이 가능하게 한다(Liu and Huete, 1995).

$$EVI = 2 \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(L + \rho_{NIR} + C_1 \rho_{RED} + C_2 \rho_{BLUE})} \quad (2)$$

이때, ρ 는 대기 상층의 반사율 또는 지표에서의 방향성(directional) 반사율이며, L는 임관의 배경효과를 조절하기 위한 매개변수, C1과 C2는 적색광의 에어로졸 효과를 교정하기 위해 청색광을 함께 사용할 때 쓰이는 가중치이다.

NDVI와 EVI는 -1에서 1 사이의 값을 가지며 식생의 활력도 및 농작물 생산량 추정 등에 효과적으로 사용되어진다. 양수의 값은 식생지역을 나타내며, 음수의 값은 물, 얼음, 눈, 구름 등 식생이 없는 지역을 나타낸다.

2.3.3 토지피복도

토지피복 분류 자료는 NASA 산하의 LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center)에서 제공하며 IGBP (International Geosphere Biosphere Programme)의 정의에 따라 17개 유형으로 분류한다. 기후변화 영향 평가, 지면-대기 상호작용 등 다양한 분야에서 요구되는 토지피복 분류는 주로 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), Terra, Apua 등 극궤도위성 자료로부터 산출된 식생지수를 이용한다.

본 연구에서는 MODIS MCD12Q1 자료를 이용하였으며 자료의 특성은 Table 1과 같으며, Fig. 1에서 나타나는 것과 같이 토지피복분류를 통해 도심지와 물 등 식생지역이 아닌 부분을 제거하여 지수를 산정하였다.

Table 1. Summary of the MODIS land cover dataset

MCD12Q1	
Sensor	Terra, Aqua
Temporal Coverage	2001-2012
Spatial Resolution	500 m
Temporal Granularity	Yearly
Projection	Sinusoidal grid
Classification Scheme	IGBP (17 classes)

2.3.4 VSIA (Vegetation Stress Index Anomaly)

VIA (Vegetation Index Anomaly)는 식생의 활력도를 통하여 가뭄상황을 정량적으로 판단하기 위한 지표로서 해당 월의 EVI 값에서 다년간의 EVI 월 평균값의 차이로 산정할 수 있다. 만약 VIA 값이 0 보다 같거나 큰 경우 식생의 활력도

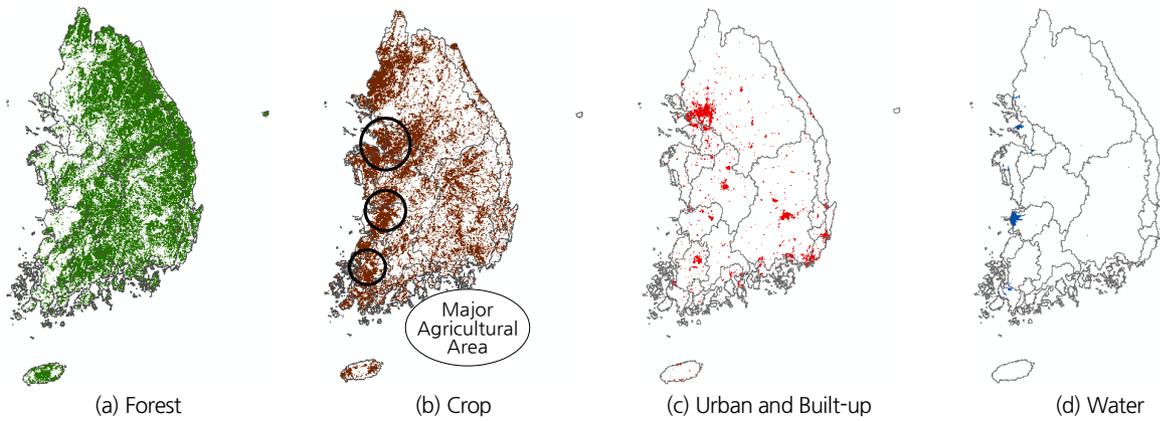


Fig. 1. Land-cover map of the South Korea using MODIS images

가 예년에 비하여 높음을 나타내며, 0 이하의 값은 가뭄의 영향으로 식생의 활력이 저하됨을 나타낸다. VIA는 Eq. (3a)와 같이 표현할 수 있으며 다른 산정방식은 Eq. (3b)와 같다. VIA의 또 다른 산정 방법은 EVI의 기준연도를 선정하여 다년간의 EVI 값의 차이로 산정할 수 있다(Zhang et al., 2012).

본 연구에서는 식생지수의 강한 계절적 영향을 제거함으로써 월별 농업적 가뭄의 공간적인 분포를 파악하기 위하여 중권역별로 산정된 해당월의 EVI 값에서 중권역별 해당 월의 전체관측기간에 대한 평균치와의 차이를 계산하여 VSIA (Vegetation Stress Index Anomaly)를 산정하였다. 산정 식은 Eq. (4)와 같다.

$$VIA = EVI - \overline{EVI} \tag{3a}$$

$$VIA = EVI_{reference\ year} - EVI \tag{3b}$$

$$VSIA_{month} = EVI_{month} - \overline{EVI}_{monthly\ average} \tag{4}$$

3. 분석결과

3.1 2001년 가뭄 전개과정 및 농업적 가뭄 피해 조사 결과

본 연구에서는 과거 가뭄에 대해서 우리나라 전역에 대한 가뭄의 전개 과정과 농업적 가뭄피해 조사를 하였으며, 특히 극심한 농업적 가뭄해인 2001년에 대하여 MODIS 위성정보를 활용하여 우리나라 지역의 농업적 가뭄의 정량적 평가를 실시하였다.

2001년 가뭄조사 보고서(MLIT, 2002)에 따르면 Table 2와 같이 도별 단위로 기상학적 가뭄지수인 SPI 값을 산술평균하여 도별가뭄지수를 살펴본 결과, 경기도와 충청북도의 평균 SPI 값이 -2.3(extremely dry)을 보여 가뭄정도가 극심하였음을 보여주고 있으며, 다음으로 강원, 충남, 경북 순으로 가뭄이 심하였음을 보여주고 있다. 2001년 1~2월 사이에는 예년대비 강수량이 평균 177%, SPI 값이 1.12로 moderately wet 상태를 보이다가 2001년 3~5월에는 예년대비 강수량 평

Table 2. March to May drought index ranking (MLIT, 2002)

Ranking	Province	January to February 2001		March to May 2001	
		Percent Normal Precipitation (%)	SPI	Percent Normal Precipitation (%)	SPI
1	Gyeonggi	182.6	1.2	18.4	-2.3
2	Chungbuk	187.7	1.2	21.7	-2.3
3	Gangwon	157.8	0.9	29.5	-2.1
4	Chungnam	198.6	1.3	25.0	-2.1
5	Gyeongbuk	169.9	0.9	31.6	-2.1
6	Jeonbuk	206.3	1.5	38.2	-1.8
7	Jeonnam	159.6	1.1	30.7	-1.8
8	Gyeongnam	177.4	1.1	39.6	-1.5
9	Jeju	159.6	1.1	65.5	-1.0

Table 3. Agricultural drought progress for 2001 (MLIT, 2002), (Month/Day)

Rice planting area (ha)	552(5/15)→3,275(5/25)→9,362(6/17)→34(6/26)→0(6/29)
Dried Paddy area (ha)	1,740(6/8)→8,817(6/12)→5,785(6/17)→0(6/25)
Crop damaged area (ha)	7,932(6/8)→10,295(6/12)→4,279(6/17)→0(6/25)
Water Storage Rate for Agricultural Reservoir (%)	53(6/8)→49(6/12)→43(6/17)→55(6/23)

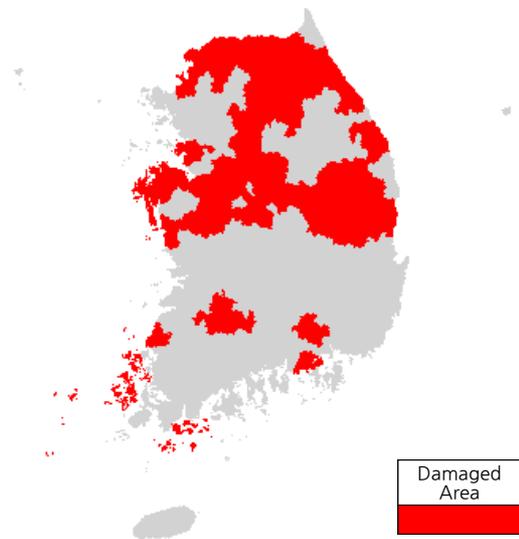
Table 4. Agricultural drought damaged current status in 2001 (MLIT, 2002)

Cities and Counties	Drought Damaged Area	# of Cities	# of Counties
Sum		16	38
Gyeonggi-do	Hwaseong-si, Icheon-si, Pocheon-si, Yeosu-si, Yangpyeong-gun, Paju-si, Anseong-si	3	4
Gangwon-do	Sokcho-si, Goseong-gun, Yangyang-gun, Gangneung-si, Samcheok-si, Inje-gun, Hwacheon-gun, Yanggu-gun, Chuncheon-si, Cheorwon-gun, Yeoncheon-gun, Hoengseong-gun, Hongcheon-gun	4	9
Chungcheing-do	Chungju-si, Eumseong-gun, Goesan-gun, Asan-si, Cheonan-si, Jincheon-gun, Dangjin-gun, Seosan-si, Boeun-gun, Taean-gun, Yeongi-gun, Gongju-si, Boryeong-si, Cheongyang-gun, Cheongwon-gun	6	9
Jeonla-do	Imsil-gun, Sunchang-gun, Namwon-si, Wando-gun, Shinan-gun, Yeonggwang-gun	1	5
Gyeongsang-do	Andong-si, Mungyeong-si, Uiseong-gun, Cheongsong-gun, Yeongju-si, Yeongdeok-gun, Yecheon-gun, Bonghwa-gun, Changnyeong-gun, Haman-gun, Uiryeong-gun, Yeongyang-gun	2	11

균이 35%, SPI 값이 -1.93으로 very dry한 상태를 보이고 있다. 2001년 1~2월에는 많은 양의 적설로 인해 예년대비 강수량이 증가하였으나 용수수요가 본격적으로 시작되는 3~5월의 강수량이 예년에 비해 절대적으로 적어 5~6월 모내기철 용수공급에 차질을 초래하였으며, 일부 산간지역에서는 생활용수 고갈로 제한 및 운반급수가 이루어지기도 하였다.

2001년 3~6월까지 경기, 강원, 충북, 경북 등의 가뭄은 기상관측사상 최악의 봄가뭄으로 기록되었으며, 특히 농번기인 3~6월 평년에 비해 아주 적은 비가 내려 농업적으로 많은 피해를 주었다. 가뭄이 절정에 다다른 6월에는 전국 70여개 기상관측지점 중 몇 개 지점을 제외한 거의 모든 지점에서 관측 이래 최소강수량을 기록했으며, 이로 인한 극심한 물 부족 현상으로 인하여 온 국민이 고통을 겪었다(Eoh, 2001). Table 3은 농림부에서 2001년 6월 26일 발표한 농업적 가뭄의 진행 상황을 보여주고 있다.

가뭄기록조사보고서(2001)에 따르면 농업적 가뭄은 경기 북부지역을 기점으로 물 부족이 심화되어 전국적으로 54개 시군에서 농업용수 부족이 발생하였다. Table 4와 Fig. 2는 2001년의 농업용수 부족으로 인한 농업가뭄 피해지역 현황과 지역을 보여주고 있다.

**Fig. 2.** Agricultural drought damaged area of 2001

3.2 식생지수를 통한 가뭄감시 기능 평가

본 연구에서는 과거 극심한 농업적 가뭄피해가 발생했던 연도인 2001년에 대하여 NDVI와 EVI를 산정하였다. 산정 결과, 겨울철에는 식생이 심한 스트레스를 받은 상태이며, 여

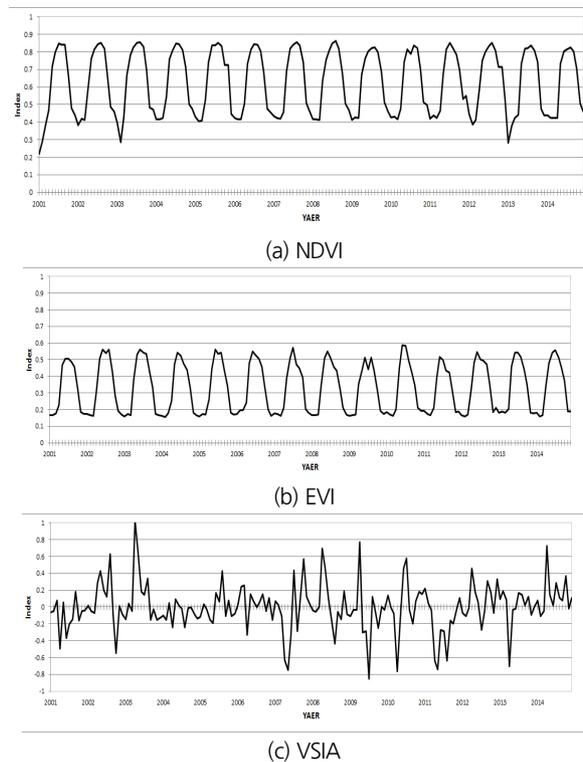


Fig. 3. Comparison of vegetation indices of the Han River (HongcheonGang) for 2001

름철에는 식생상태가 건강하게 나타나는 뚜렷한 계절성을 보이는 것으로 나타났다(Fig. 4-5). 결국 우리나라에서는 식생지수만을 활용하여 직접적으로 가뭄을 정량적으로 판단하는 것이 부적합 것으로 나타났다. Fig. 3을 보게 되면 NDVI와 EVI 시계열이 뚜렷한 계절성을 보여주고 있으며 VSIA를 통하여 시계열의 계절성이 어느 정도 제거된 상태로 나타나고 있으며 가뭄이 심했던 가뭄연도의 VSIA가 다른 연도에 비하여 상대적으로 낮게 나타남으로써, VSIA를 통한 농업적 가뭄의 평가가 어느 정도 가능한 것으로 나타났다.

3.3 VSIA를 이용한 농업적 가뭄 평가

기상학적인 가뭄을 감시하기 위하여 자주 이용되는 SPI는 일정기간 동안의 누적강수량만을 이용하여 계산되는 가뭄지수로서 특정지역이 예년에 비하여 어느 정도 강수가 부족한지를 상대적으로 알 수 있으므로 강수량만으로 고려한 기상학적 가뭄의 시, 공간적인 분포를 정확히 파악할 수 있는 가뭄지수이다. 하지만, 농업적 가뭄의 경우에는 강수량의 부족량뿐만 아니라 식생의 공간적 분포상태, 토양수분, 관개용수 공급 가능 여부 등 매우 다양한 상황이 고려되어야 만 한다. 따라서 농업적 가뭄상황을 SPI만으로는 모니터링하기에는 한계가 있을 수밖에 없다.

식생 활력을 나타내는 EVI의 이상치인 VSIA 산정 결과와 기상학적 가뭄지수인 SPI를 비교해 본 결과 공간적 분포와 시간적 분포가 매우 다르게 나타났다. 2001년 SPI(6) 산정결과, 1~2월에는 약간의 습윤 상태를 보이다가 4월~7월에는 남부지방을 중심으로 매우 건조한 상태 또는 극심한 건조 상태가 나타났다(Fig. 6). 하지만 VSIA 산정결과(Fig. 7)에서는 경기북부 및 강원, 충남지역에 4월과 6월에 극심한 식생의 스트레스가 나타났던 것으로 분석되었다. VSIA에 의해서 표현되는 가뭄지역의 시간적 분포는 SPI(6)는 4월과 5월에 정점의 가뭄상황을 나타내고 있지만 VSIA는 6월에 정점의 가뭄상황을 나타내는 것으로 나타났으며 공간적분포의 경우에도 SPI(6)는 주로 남부지방 그리고 VSIA는 중, 북부 지방이 가뭄의 중심으로 나타났다.

2001년 가뭄조사보고서에 의하면 2001년 가뭄은 6월에 정점을 기록하여 최대의 농업적 피해를 준 것으로 나타났다. 따라서 Fig. 8에는 6월에 대한 SPI(6) 가뭄도(Fig. 8. (a)), 가뭄기록조사보고서(2001)상의 농업적 가뭄피해지역(Fig. 8. (b)), VSIA로 표현된 농업적 피해지역의 식생상황(Fig. 8.(c)), 우리나라 전체의 VSIA (Fig. 8. (d))를 비교하여 나타냈다. Fig 8.에서 알 수 있듯이, 2001년 봄가뭄에 의한 농업적 피해지역은 SPI(6) 보다는 VSIA에 의해서 더욱 정확하게 모니터링

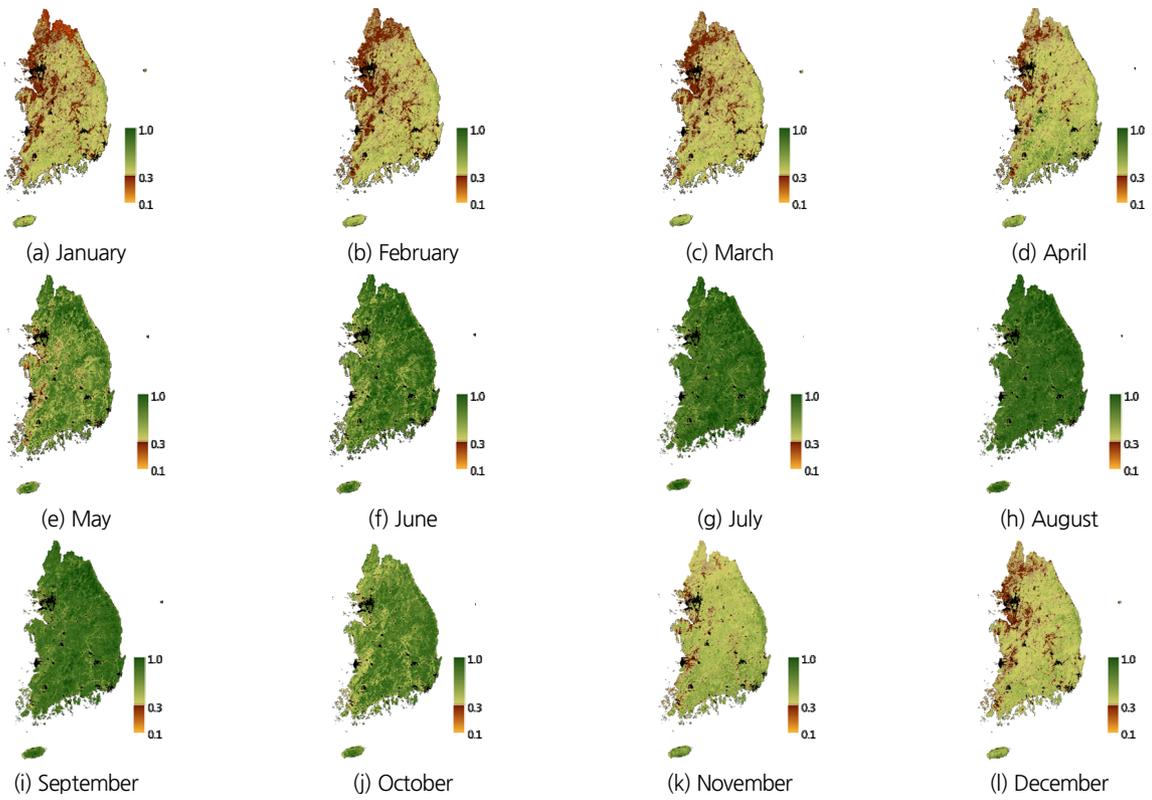


Fig. 4. Monitoring 2001 drought using MODIS satellite imagery (NDVI)

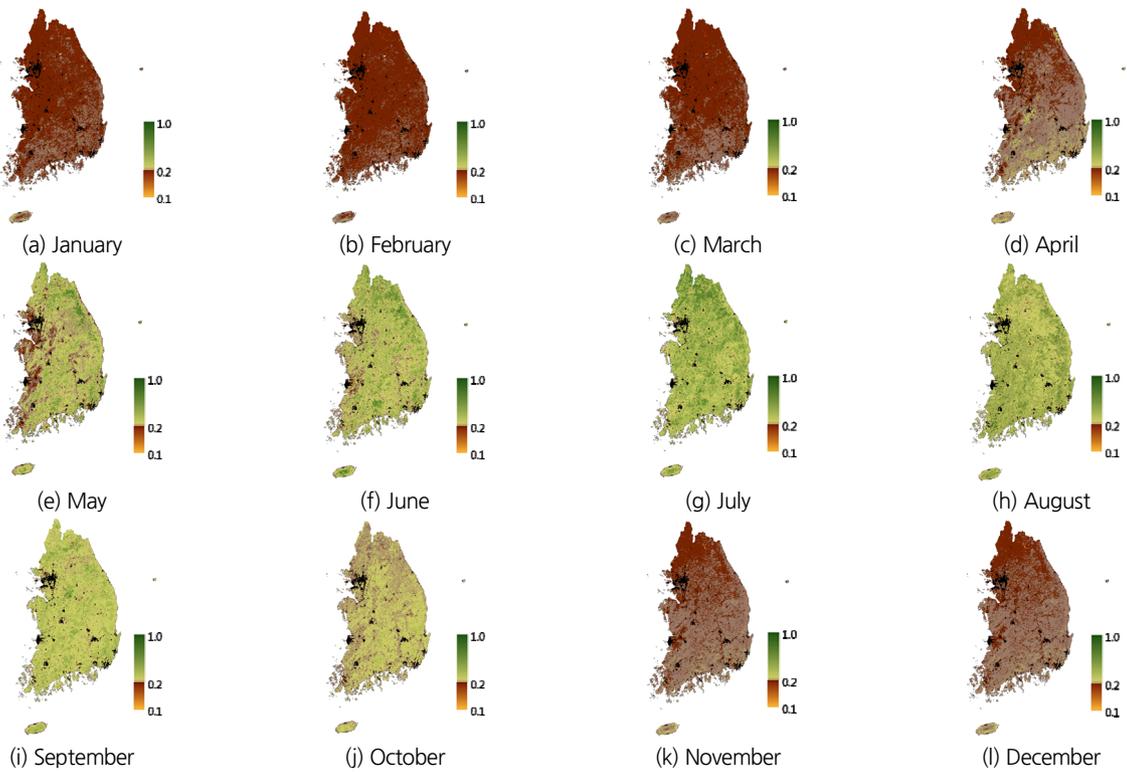


Fig. 5. Monitoring 2001 drought using MODIS satellite imagery (EVI)

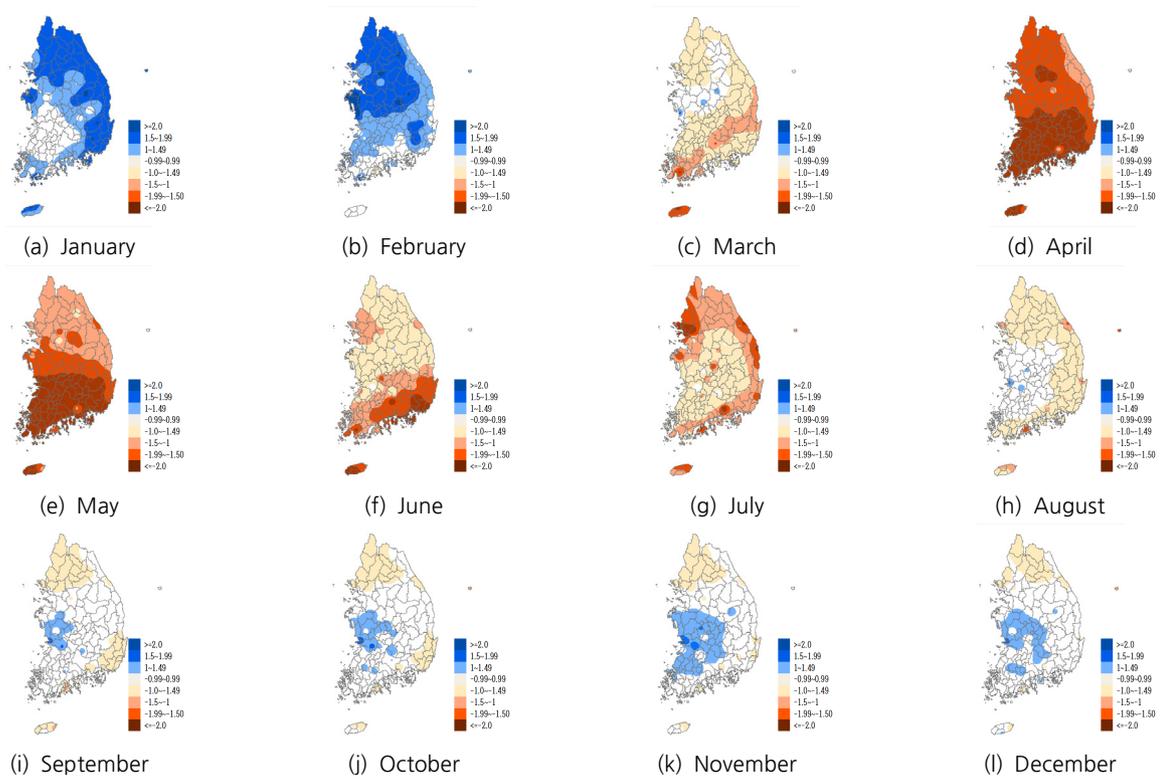


Fig. 6. Monitoring 2001 drought using SPI (6)

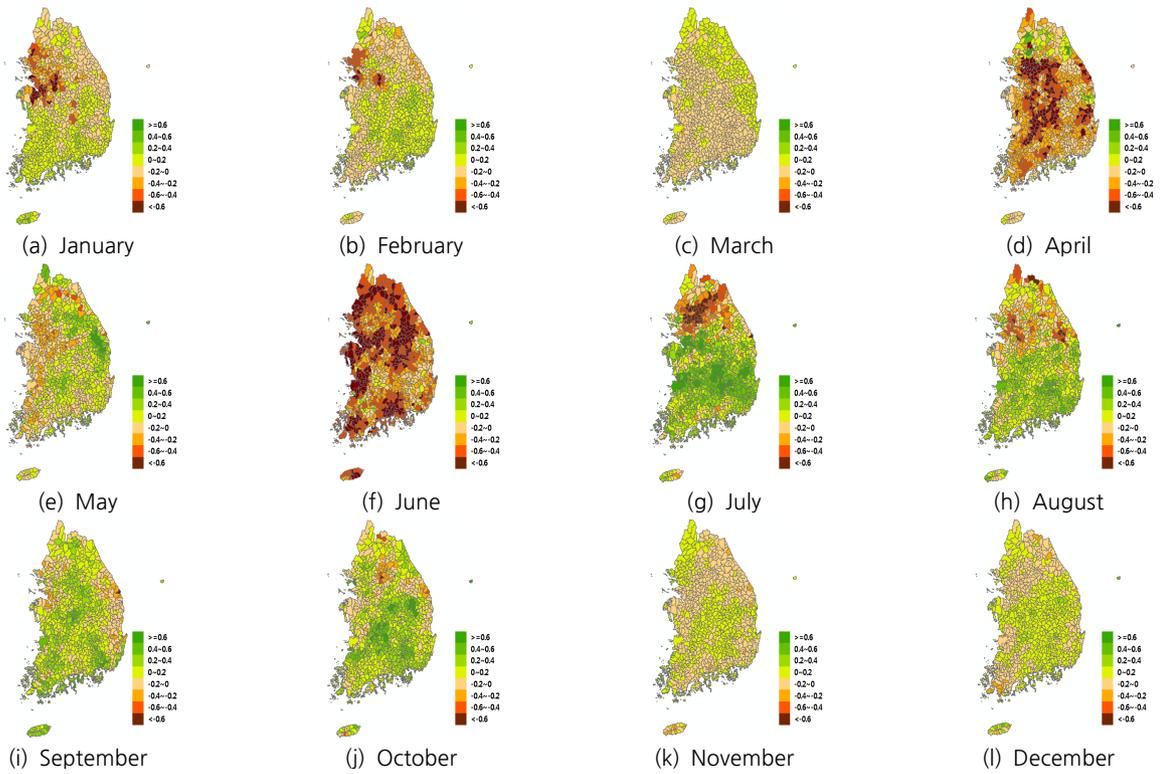


Fig. 7. Monitoring 2001 drought using MODIS satellite imagery (VSIA)

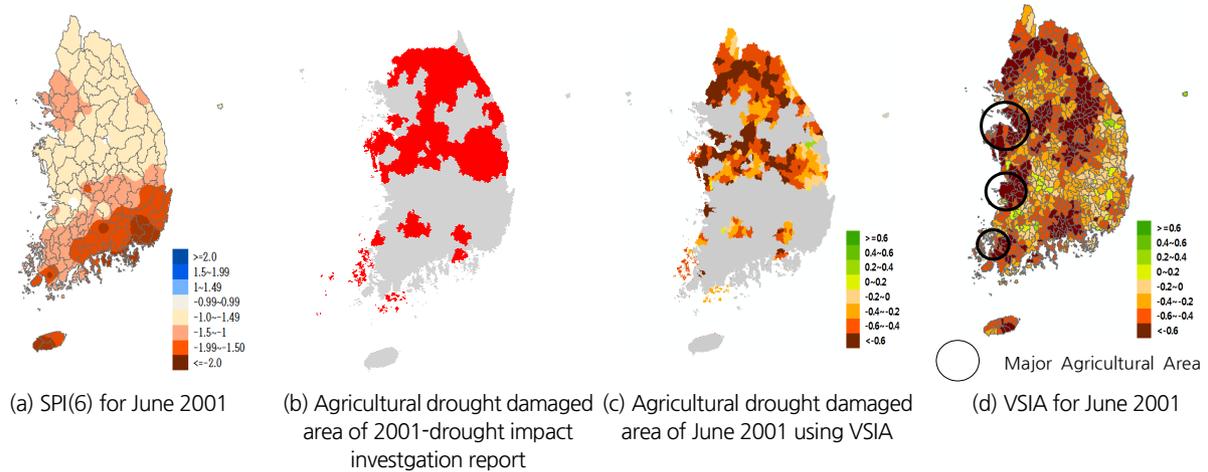


Fig. 8. Comparison of agricultural drought damaged area with VSIA (2001)

되는 것으로 나타났다. 특히, Fig. 1의 토지피복 분류에 따라서 우리나라 작물재배 지역중(crop area)에서 대규모의 관개지역을 검정색 원으로 표시하였으며 VSIA를 통하여 대단위 관개지역의 농업적 가뭄상황을 정확하게 파악할 수 있는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 농업적 가뭄을 공간적으로 파악하기 위하여 Terra 위성의 MODIS 센서의 영상자료를 이용하여 NDVI와 EVI를 산정하였다. 산정된 식생지수를 활용하여 과거 주요 농업적 가뭄연도인 2001년에 대해서 적용해본 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) MOIS의 대표적 식생지수인 NDVI와 EVI를 활용한 가뭄 모니터링 시도 결과에서 두 가지 지수 모두 계절적인 성향이 강하게 나타나므로 우리나라의 기후특성상 식생지수만을 별도의 재가공과정 없이 이용하여 가뭄을 평가하기에는 어려움이 있는 것으로 나타났다.
- 2) 식생지수의 계절적 성향을 제거하기 월별 예년평균에 대한 이상치 개념으로서 VSIA를 산정하였으며 VSIA를 통한 가뭄의 시, 공간적인 분포특성이 기상학적 가뭄지수인 SPI와 다소 다르게 표현되는 것으로 나타났다.
- 3) VSIA를 과거 극심한 농업적 가뭄연도인 2001년에 적용한 결과, 가뭄의 시간적 분포에서는 VSIA가 SPI보다 1개월 정도 최대 가뭄상황이 늦게 나타나는 것으로 나타났으며, 공간적인 분포에서도 SPI의 최대가뭄 심도가 나타나

는 지역은 남부지역이 중심인 반면에 VSIA의 식생 스트레스가 최대로 나타내는 지역은 중부 및 북부지역을 중심으로 나타났다.

- 4) 연구결과의 검증은 위하여 과거 가뭄기록 조사에서 나타난 농업적 가뭄피해지역과 VSIA에 의해서 나타난 식생의 스트레스가 심한 지역을 비교한 결과, VSIA는 농업적 가뭄피해 지역을 정확하게 재현하는 것으로 나타났으며 향후 위성자료를 활용한 농업적 가뭄 감시에 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 위성영상자료의 보유기간 및 조사된 농업 가뭄피해 자료의 부족으로 인하여 장기간의 자료에 대한 시공간적 가뭄 평가 검증이 제한적으로만 실시되었지만, 농업적 가뭄에 대한 위성영상 정보를 이용한 정량화의 가능성을 확인하였으며 농업 가뭄 피해에 대한 현실적인 대책 및 적용 전략 수립에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(15AWMP-B079625-02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Eidenshink, J.C. (1992). The 1990 Conterminous U.S. AVHRR Dataset, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,

- Vol. 58, No. 6, pp. 809-813.
- Eoh, M.S. (2001). Drought and measures 2001, *Journal of Urban Hazard Mitigation*, Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 1, No. 2, pp. 4-8.
- IPCC (2007). Climate Change 2007: The physical science basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment, in S. Solomon, D. Qin, M. Mannigna, Z.Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller (Eds.), Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996.
- IPCC (2014). Climate change (2014): Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Jhang, J.H., Jiang, L.G., Feng, Z.M., and Li, P. (2012). Detecting Effects of the Recent Drought on Vegetation in Southwestern China *J. Resour. Ecol.* Vol. 3. No. 1. pp. 43-49.
- Kim, G.S., and Park, H.G. (2010). Estimation of Drought Index Using CART Algorithm and Satellite Data, *The Korean Association of Geographic Information Studies* Vol. 13, No. 1, pp. 128-141.
- Kim, G.S., and Park, J.S. (2006). Correlation Analysis of Vegetation Index and Drought Index *Korean Wetlands Society*, Vol. 8, No. 1, pp. 49-58.
- Kim, B.S., and Lee, J.W. (2011). Evaluation of Drought Indices using the Drought Records, *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 8, pp. 639-652.
- Kim, B.S., Sung, J.H., Lee, B.H., and Kim, D.J. (2013). Evaluation on the impact of extreme droughts in South Korea using the SPEI and RCP8.5. *Climate Change Scenario Journal of Kosham*, Vol. 13, No. 2, pp. 97-109.
- Kogan, F.N. (1990). Remote Sensing of Drought, *Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 591-594.
- Kogan, F.N. (1995). Application of Vegetation Index and Brightness Temperature for Drought Detection, *Adv. in Space Res.*, Vol. 15, pp. 91-100.
- Kogan, F.N. (1997). Global drought watch from space, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 78, pp. 621-636.
- Kogan, F.N., Gitelson, A., Edige, Z., Spivak, I., and Lebed, L. (2003). AVHRR-Based Spectral Vegetation Index for Quantitative Assessment of Vegetation State and Productivity: Calibration and Validation, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 69, No. 8, pp. 899-906.
- Korea Water Resources Corporation (2002). 2001 National Drought Investigation Report, pp. 57-95.
- Lee, J.H., Kim, J.S., Jang, H.W., and Lee, J.C. (2013). Drought Forecasting Using the Multi Layer Perceptron (MLP) Artificial Neural Network Model, *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 46, No. 12, pp. 1249-1263.
- Liu, H.Q., and Huete, A.R. (1995). A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing* 33, pp. 457-465.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) (2002). 2001 Drought Impact Investigation Report.
- Park, J.S., Kim, K.T., and Kim, J.H. (2005). Analysis of the Possibility for Practical Use of Vegetation Indices and Drought Indices for Drought Detection, *Proceedings of the KSRS Conference*, Korean Society of Remote Sensing, pp. 157-160.
- Rouse, J.W. (1974). "Monitoring vegetation Systems in the Great Plains with ERTS," *Proceedings, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, Greenbelt: NASA SP-351, 3010-317.
- Shin, S.H. (2005). Applicability Analysis of Drought Index using Multi-temporal NDVI, M.S. dissertation, Inha University, pp. 33-54.
- 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.
- Wilhite, D.A. (2000). Drought as a natural hazard: concepts and definitions. In: Wilhite D.A. (ed) *Drought: a global assessment*, Routledge, pp. 3-18.