

Terra MODIS NDVI를 활용한 3월말 논지역 건조상태에 따른 가뭄표현 가능성 연구*

이지완¹ · 이용관¹ · 김성준^{1*}

The Possibility of Drought Expression by Late March Dryness in Rice Paddy Areas Using Terra MODIS NDVI*

Ji-Wan LEE¹ · Yong-Gwan LEE¹ · Seong-Joon KIM^{1*}

요 약

본 논문의 목적은 Terra MODIS NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)를 이용하여 3월 하순 논 지역의 건조상태를 평가함으로써 식생지수의 가뭄표현 가능성을 확인하는데 있다. 2000년부터 2015년까지의 평균 NDVI와 해당연도 NDVI를 활용한 DCI(Dry Condition Index)를 개발하여 논지역의 건조상태를 분석하였다. 전국을 대상으로 3월 16일부터 5월 25일까지의 16일 간격 DCI를 산정하여 시공간적 건조도를 평가하였으며, 특히 4월 7일(3/23-4/7) DCI는 가뭄년에 대하여 논 지역이 건조함을 잘 나타냄을 확인하였다. 4월 7일의 건조상태 DCI 값은 0.04-0.08 으로 나타났고, 정상상태는 -0.04~0.01이었다. 본 연구에서 개발한 DCI는 초봄의 논 건조 상태를 평가에 대한 지표로서의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

주요어 : 가뭄지수, 건조지수, 농업가뭄, 정규화식생지수, Terra MODIS

ABSTRACT

The purpose of this study is to diagnose the possibility of future drought expression by late March dryness in rice paddy areas using Terra MODIS NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). We tested the degree of dryness by comparing the 2000-2015 average NDVI with yearly NDVI, which we name DCI (Dry Condition Index). The 16-day interval DCIs from March 6 to May 25 were evaluated with spatio-temporal expression of South Korea. In particular, we find that the DCI for April 7 (March 23 to April 7) offered reasonable prediction of paddy dryness during drought years. The April 7 DCI value for dry conditions ranged from 0.04 to 0.08 while the DCI

2017년 4월 3일 접수 Received on April 3, 2017 / 2017년 7월 25일 수정 Revised on July 25, 2017 /
2017년 8월 4일 심사완료 Accepted on August 4, 2017

* 본 연구는 기상청 기상산업지원 및 활용기술개발사업 (KMIPA 2015-2070) 의해 수행되었음.

¹ 건국대학교 사회환경플랜트공학과 Department of Civil, Environmental and Plant Engineering, Konkuk University

* Corresponding Author E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

for normal conditions ranged from -0.04 to 0.01. The DCI can be one of the indicators used to evaluate the dryness of rice paddy areas at the beginning of the spring season.

KEYWORDS : *Drought Index, Dryness Index, Agricultural Drought, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Terra MODIS*

서 론

가뭄은 강수량의 부족으로 인한 기상학적 가뭄, 지표수 및 지하수의 부족으로 인한 수문학적 가뭄, 토양의 건조 상태로 인한 농업적 가뭄, 용수 및 전력공급의 제한으로 인한 사회·경제적 가뭄으로 분류될 수 있으며, 일반적으로는 어느 지역의 인간생활 및 사회 경제 활동이나 동식물 생육에 피해를 가져올 정도로 강수량 부족이 장기화되는 비정상적인 현상으로 정의할 수 있다.

우리나라의 가뭄은 5년에서 8년 주기로 발생하고 있으며, 최근에는 더 빈번하게 발생하고 있다. 2001년에 발생했던 봄 가뭄의 경우 유례가 드문 가뭄으로 3~6월동안 전국 72개 관측지점 중 57개 지점에서 기상 관측 이래 최소 강수량을 기록하였으며, 3월 이후 강수량은 평년대비 228 mm나 적은 수치를 기록하였다(MCT, 2001). 2008~2009년 태백지역의 주 용수원인 광동댐의 고갈로 인해 2009년 1월부터 3월까지 급수가 제한되었다. 2012년의 봄 가뭄은 5월부터 6월 말까지 2달 동안 지속되면서 중부지방은 1908년 기상관측 이래 104년 만의 극심한 가뭄이 발생하였고(KRC, 2012), 2014년 전국 평균 강수량은 평년 대비 90% 수준을 보였으나, 특히 5~7월 강원, 충북, 경상도 지역은 평년대비 50%의 강수량을 기록하여 다른 용수분야와 마찬가지로 극심한 농업 가뭄피해가 있었다(KMA, 2015). 2015년의 봄 가뭄은 1월부터 6월까지 누적강수량이 274.0mm로 평년대비 84% 수준으로 전국 대부분 지역에서 강수량 부족이 나타났으며 특히 중·남부지방은 누적강수량이 평년대비 57%로 심한 가뭄을 겪음에 따라 농업용수 부족으로 인한 농작물 피해가 발생하였다.

우리나라 같은 벼농사 위주의 농업에서는 관

개기인 봄(3월~6월) 가뭄에 매우 취약하며 이 시기의 농업용수는 생활용수, 공업용수와는 달리 전체적으로 물이 풍부하다 하더라도, 논물잡이 및 관개시기인 봄과 여름에 가뭄으로 인해 물을 제대로 공급해주지 못하는 현상이 발생한다(KRC, 2012). 벼의 생육 특성 상 모내기 전에 논에 물을 일정기간 가두두는 논물잡이 기간이 존재하며(Jung *et al.*, 2011), 이 기간 동안의 강수량 및 토양 건조 상태는 벼가 자라는 입지환경을 조절하여 벼의 생육에 직접적인 영향을 주기 때문에 봄철 논 지역의 건조 상태를 파악하는 것은 매우 중요하다.

인공위성 영상을 활용한 원격탐사 기법은 홍수, 폭설, 가뭄, 산불 등 광역 대규모의 다양한 자연재해에 대한 자료를 획득할 수 있기 때문에 실측자료의 시·공간적 한계를 극복하기 위해 많이 사용되고 있다(Shin *et al.*, 2015). 2000년대 이후 한반도의 봄철의 식생변화를 효과적으로 탐지하기 위해 NOAA AVHRR NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)에 비해 향상된 자료 특성을 갖는 MODIS 영상자료의 활용이 대두되고 있다(Baek *et al.*, 2016).

국내에서는 가뭄에 대한 파악을 위해 Shin and Eoh(2004)이 NOAA/AVHRR의 NDVI로부터 식생상태지수 VCI(Vegetation Condition Index)를 산정하여 광역적 가뭄 분석을 실시하였으며, Shin *et al.*(2006)은 MODIS NDVI와 기온자료를 통해 증발산량을 추정하였고 Yoo *et al.*(2010)은 MODIS 위성영상 중 LST(Land Surface Temperature)와 가뭄지수의 상관성을 분석하였다. Bae and Son(2013)은 MODIS의 다양한 식생지수와 SPI를 비교하여 가뭄을 평가 하고 향후 활용가능성을 제시하였으며, Ahn *et al.*(2014)은 MODIS EVI (Enhanced Vegetation Index)와 NDVI 및 수문학적 가뭄지수

를 활용한 실제 가뭄 사례를 분석한 결과 미계 측지역에 대한 현황 파악이 일부 가능한 것으로 판단하였다. Sur *et al.*(2014)는 MODIS 위성 영상자료를 활용하여 수문기상인자 기반의 가뭄 지수(Evaporative Stress Index, ESI)를 산정하여 가뭄지수와 상관성 분석을 통해 ESI의 국내 적용성을 확인하였다. Park *et al.* (2015)은 동두천과 태백지역을 대상으로 MODIS DSI(Drought Severity Index)를 이용하여 기상학적 가뭄 지수와의 상관성을 분석하여 DSI의 활용성을 검토하였다. Shin *et al.*(2015)은 소양강댐을 대상으로 MODIS NDVI로부터 VCI와 SVI를 산정하여 가뭄 피해지역의 공간적 범위를 분석하였다.

국외의 경우 Wan *et al.*(2004)는 MODIS NDVI와 LST를 이용하여 미국 중부지역의 가뭄지수인 VTCI(Vegetation Temperature Condition Index)를 개발하여 가뭄모니터링을 수행한 바 있으며, Karnieli *et al.*(2008)은 AVHRR의 NDVI와 LST를 활용하여 여름철의 작물 성장기(4~9월)에 대한 시간적, 공간적 그리고 식생 유형에 따른 가뭄 영향 평가를 실시한 바 있다. 건기 시 농업 가뭄 모니터링을 위해 Son *et al.*(2012)은 월별 MODIS NDVI와 LST를 이용한 TVDI(Temperature Vegetation Dryness Index)을 적용한 바 있으며, Sun *et al.*(2013)은 MODIS LST의 Day, Night 자료와 NDWI(Normalized Difference Water Index)를 합성하여 봄철 농업가뭄 모니터링이 가능한 VDI(Vegetation Drought Index)를 개발하였다. Chakroun *et al.*(2014)는 MODIS LAI를 이용하여 지중해의 산림지역의 가뭄 영향을 분석한 바 있다.

선행 연구들은 주로 위성영상을 통해 가뭄 시 식생의 변화에 대한 모니터링을 수행해 왔으며 그 이외의 가뭄 지수나 수문모델들을 활용한 가뭄의 심도를 표현해 왔다. 현재 선진국에서는 가뭄현상을 사전에 탐지하는 것을 시작으로 가뭄 발생 시 취해야 할 적절한 대응까지 포함하는 종합적인 가뭄 관리체계를 구축하고 있는 상황인 반면 우리나라는 가뭄의 위기관리 측면에

비중을 두고 가뭄 발생 시 대응하는 수준에 머무르고 있다(Shin *et al.*, 2006).

농업 가뭄에 대한 적절한 대응조치를 위해 벼의 생육 중 가장 중요한 논물잡이 시기의 토양 특성과 식생지수의 특성을 이해하여 토양의 건조 상태에 따른 가뭄현상을 조기에 감지하고 이에 대한 적절한 대응체계를 구축할 수 있는 연구가 요구된다. 이에 본 연구는 한반도 전체의 환경 및 식생모니터링이 용이하며 관측주기가 짧고 관측 폭이 넓어 식생의 변화 관측에 적합한 위성영상인 Terra MODIS NDVI를 활용하여 관측 시작연도(2000년)부터 2015년까지의 봄철 NDVI의 패턴을 분석하고 이를 토대로 토양 건조지수(DCI)를 산정 하였다. DCI의 적용성을 평가하기 위해 누적강수량 및 수문학적 가뭄지수인 SPI(Standardized Precipitation Index)와의 상관성 분석을 수행하였으며, 이를 통해 봄철 논지역의 가뭄 표현을 위한 MODIS NDVI의 활용성과 효과적인 활용방안을 제시하고자 하였다.

연구방법

본 연구에서는 MODIS 위성영상 자료를 이용한 DCI 산정에 앞서, 우리나라의 주요 가뭄 년도에 대한 봄철 16일 간격의 NDVI에 대한 패턴 분석 및 픽셀 분포 분석을 실시하고 가뭄 년도를 제외한 NDVI 평년 자료를 생성하였다. 이를 통해 시군구별 논 지역을 대상으로 DCI를 산정하였으며, 강수량 자료 및 SPI-12 자료와의 상관성 분석을 통해 DCI의 가뭄 표현에 대한 가능성을 검토하였다(그림 1).

1. Terra MODIS 위성

MODIS는 Terra(EOS AM)와 Aqua(EOS PM) 위성에 탑재된 센서이며 극궤도 위성이다. Terra MODIS는 1999년 12월에 발사되어 전 지구를 하루 혹은 이틀에 걸쳐 관측하며, 36개의 분광 밴드로 0.4~15 μ m의 파장영역을 관측한다. Terra 위성은 705km 고도에서 일 2회 한반도 상공을 지나며, 북쪽에서 남쪽 방향으로 오

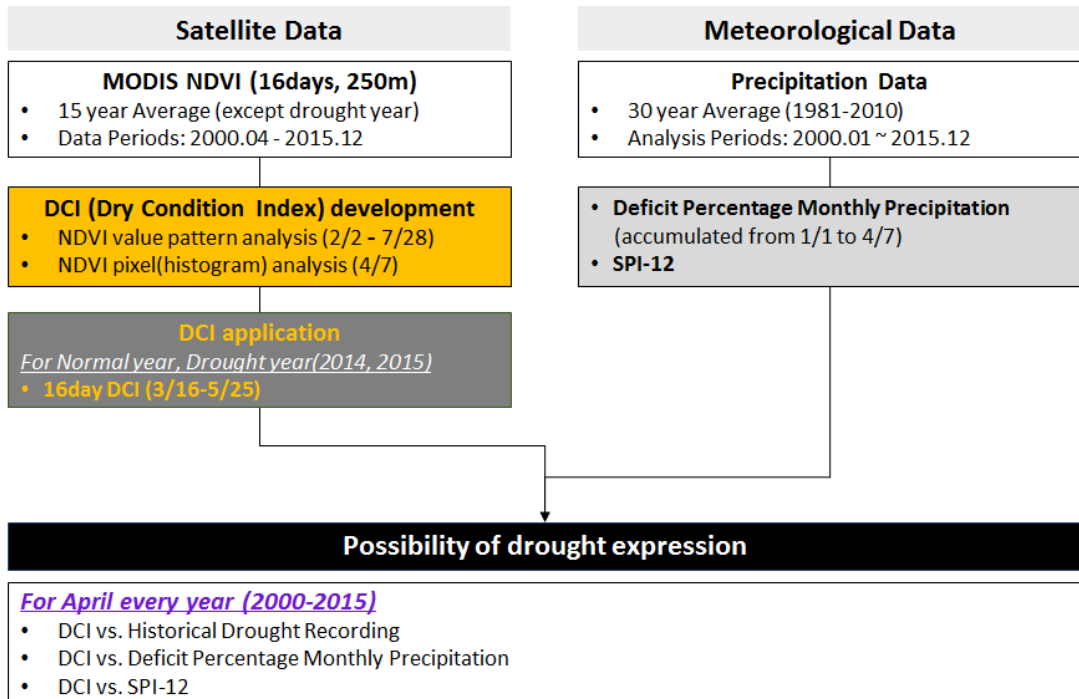


FIGURE 1. Research process in this study

전 10시 30분경에 적도를 통과한다. 관측범위는 남북방향으로 5,000km, 동서방향으로 2,300km이다. MODIS의 공간해상도는 밴드 1과 2가 250m×250m, 밴드 3부터 7은 500m×500m 및 밴드 8부터 36까지는 1km×1km 등 세 가지 종류가 있다(Lee *et al.*, 2015).

MODIS NDVI Product는 250m, 500m, 1km 해상도로 구성되어 있으며 16일과 월 단위로 합성된 자료를 제공한다. 또한, 기존의 NOAA AVHRR NDVI에 비해 좁은 파장영역대의 분광 자료를 활용하여 대기의 영향을 최소화 하였으며 지표면의 반사특성을 기록하는 방사해상도가 2배로 확대되어 물 부족에 의한 식생의 반응을 보다 효과적으로 반영하는 특징을 갖고 있다(Huete *et al.*, 1999).

본 연구에서 사용한 영상은 Land Processes Distributed Active Archive Center(LP DAAC)에서 제공하는 250m 공간 해상도의 Vegetation Indices(MOD13Q1)를 구축하였다. MOD13Q1

자료는 Quality Assessment(QA) 정보와 더불어 16일 중 오차가 가장 작은 날짜에 대한 정보를 함께 제공하며 구름 또는 구름에 의한 그림자 등에 의한 자료의 불확실도를 제공한다. 본 연구에서는 모든 영상은 2000년 2월부터 2015년 12월의 기간에 걸쳐 16일 간격으로 구축하였으며, 오차를 최소화하기 위해 MODIS 자료 처리 시 QA정보를 적용하였다.

위성영상 기반의 식생지수 중 하나인 NDVI는 식생의 분포와 상태를 나타내는 지수로, 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.

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

NDVI는 -1에서 1의 범위를 가지며 식생분석을 위해 가장 광범위하게 활용되고 있다. 일반적으로 다양한 지표 구성 물질 중 구름, 물, 눈 등과 같이 수분을 포함하는 경우에는 근적외선 영역의 반사값이 낮기 크기 때문에 NDVI 값이 음수가 되며, 암석, 마른토양 등은 두 파장대에서 반사특성이 거의 같기 때문에 NDVI 값은 0에 가깝게 나타난다. 녹색식물인 경우에는 0.6~0.8 사이의 값을 나타낸다. 식생의 모니터링 수단으로 NDVI는 계절별, 특정 시기별 식생활동을 비교하여 정보를 제공한다(Huete *et al.*, 1999).

2. MODIS 기반의 건조지역 탐지 알고리즘

NDVI를 이용한 가뭄평가는 식생 활력의 변화를 기상요소의 변화에 따른 영향으로 한정하여 동일한 위치와 시기에서의 픽셀 값의 변화를 통해 가뭄을 판별한다. NDVI는 토지피복과 같은 공간적 변이나 계절과 같은 시간적 변이는 고려되지 않기 때문에 NDVI의 상대적 변화를 비교할 수 있는 NDVI 기반의 가뭄지수를 개발하여 활용한다(Park and Kim, 2009).

농업에서의 가뭄은 평년을 기준으로 한 상대적 차이가 중요함에 따라 본 연구에서는 평년 대비 현재의 상대적 건조지역을 탐지하기 위해 평년 대비 건조지수를 개발하고자 하였다. 또한 본 연구의 대상지역을 논 지역으로 설정하여 토지 용도가 지정된 구역의 식생 상태를 비교하게 되므로 상대적 차이에 대한 정량적인 평가가 가능하다.

본 연구에서는 논물잡이 시기인 3월 하순~4월 초에 대해 토양의 건조상태에 따른 NDVI의 공간적 변화분포를 살펴보기 위해 가뭄시기와 평년의 이미지 연산을 통해 식생지수 변화지역을 분석하였으며, 본 연구에서는 이미지를 식(2)와 같이 DCI로 정의하였다.

$$DCI = NDVI_i - NDVI_{mean} \quad (2)$$

여기서, $NDVI_i$ 는 대상 일자이며 $NDVI_{mean}$ 는 평년으로, 본 연구에서 활용한 MODIS 영상 자료는 2000년 2월 이후부터 자료를 제공하고

있는 이유로 누적된 장기간의 자료를 이용한 특정시점의 심도분석이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 누적강수량 가뭄 기록 등을 고려하여 평년 및 가뭄 년도(2001, 2009, 2012, 2014, 2015)를 선정하였다. 또한 논 지역 추출을 위해 Landsat7, 1/5,000 과 1/25,000 수치지도, 식생도, 임상도, DEM 자료 등을 이용해 제작된 환경부의 중분류 토지피복도를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. NDVI를 활용한 봄철 논지역 건조상태 패턴분석

본 연구에서는 2000년부터 2015년까지 MODIS NDVI를 활용하였으며, 봄철 논지역의 건조상태 분석을 위하여 2월부터 5월을 선정하였다. 또한 환경부 토지피복지도로부터 우리나라 9개도의 논 지역을 추출하여 분석에 활용하였다.

다음 그림 2는 가뭄년(2014, 2015)과 평년 및 2011년에 대하여 2월 2일(DOY 33)부터 7월 28일(DOY 209)까지의 지역별 NDVI를 시계열 대로 나타낸 것이다. 4월 7일(DOY 97)부터 5월 25일(DOY 145)의 가뭄년의 NDVI는 평년 및 2011년에 비해 빠르게 증가하였다. 특히 4월 7일의 경우 2014년과 2015년의 NDVI는 각각 0.46, 0.45, 평년과 2011년은 각각 0.39, 0.37 으로 가뭄년인 2014의 NDVI가 평년에 비해 0.07 높게 나타났다.

우리나라의 논물잡이는 4월 초순에 물가두기를 시작하여 5월말에 마치며, 전국적으로 비슷한 시기에 논물잡이를 실시한다(Rural Research Institute, 2005). 분석기간 중 가뭄년의 경우 강수량의 부족 및 용수공급 제한 등으로 인해 토양이 메말라졌으며, 메마른 상태의 토양이 물 또는 습한 토양 보다 높은 식생지수를 갖기 때 문인 것으로 판단된다.

2. NDVI 픽셀분포를 통한 DCI 범위 결정

DCI 산정에 앞서 평년과 가뭄년의 NDVI의 픽셀분포를 살펴보고 DCI의 표현범위를 결정하

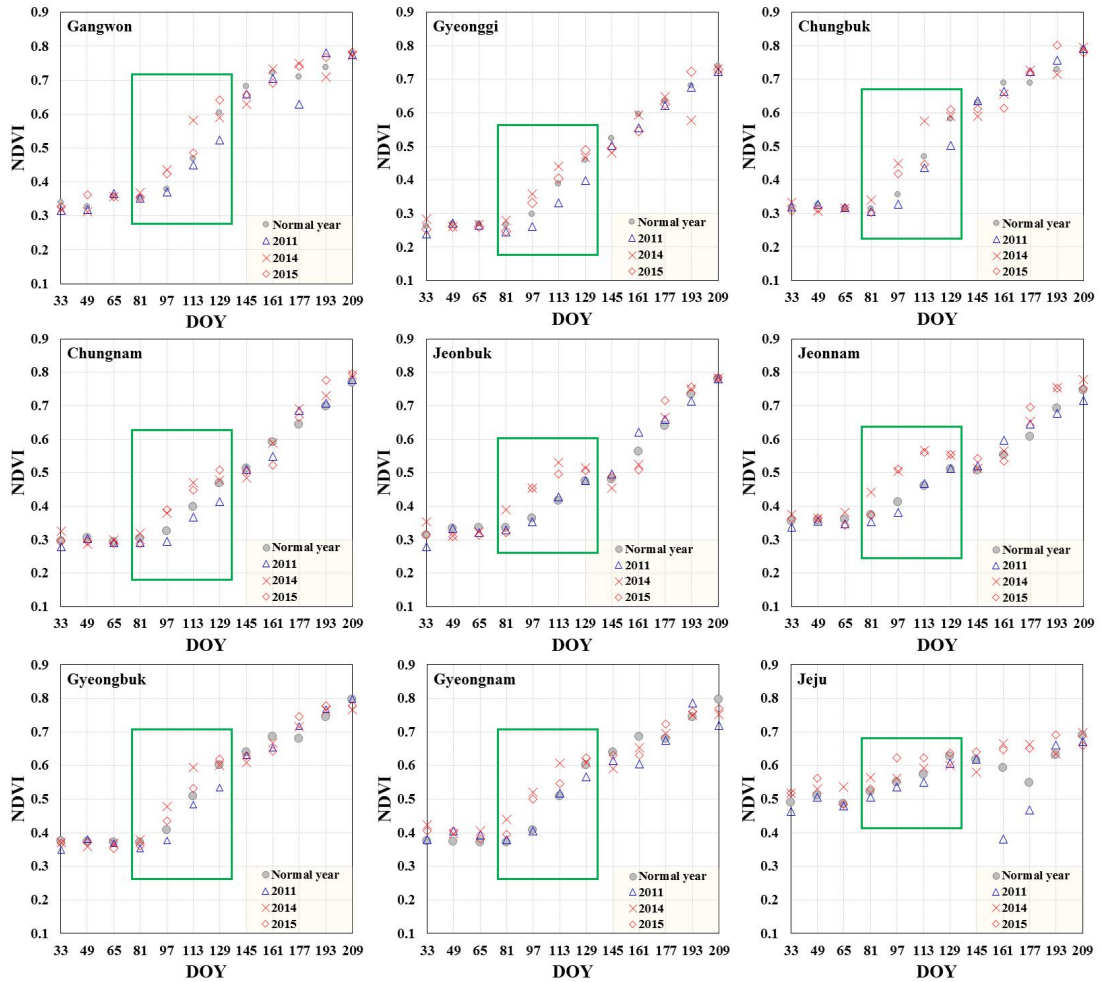


FIGURE 2. Comparison of Spring season NDVI of paddy area for drought period

기 위해 식생지수의 차이가 가장 큰 4월 7일에 대한 히스토그램을 통해 통계분석을 실시하였다. 전국적으로 심한 가뭄을 겪었던 2014, 2015년과 가뭄 기록이 없는 2011년을 선택하여 가뭄년도와 평년을 비교하였다. 그림 3은 4월 7일에 3개년(2011, 2014, 2015년)에 대한 행정구역별 NDVI 픽셀분포를 도시한 것이고, 표 1은 이를 행정구역 내 논 지역 픽셀 수, 논 지역에 대한 NDVI 최저, 최고, 평균, 또한 NDVI 분포에 대한 표준편차를 정리한 것이다. 표준편차는 통계집단의 단위의 계량적 특성 값에 관한 산포도

를 나타내는 지수로 Park *et al.*(2013)등이 식생의 변화가 큰 지역을 식별하기 위해 NDVI 분포의 표준편차를 활용한 바 있다.

그림 3과 표 1을 살펴보면 경남과 제주를 제외한 모든 지역에서의 NDVI는 평년보다 가뭄년이 높은 것으로 분석되었다. 특히 논 지역의 픽셀이 15,033개로 가장 많은 전남의 경우 최대 NDVI가 가뭄년(2014년)에는 0.96, 평년은 0.84로 가뭄년 이었던 2014년의 NDVI가 평년에 비해 0.12 높은 것으로 나타났다. 2015년 극심한 가뭄을 겪은 충남의 평년 최대 NDVI는 0.65,

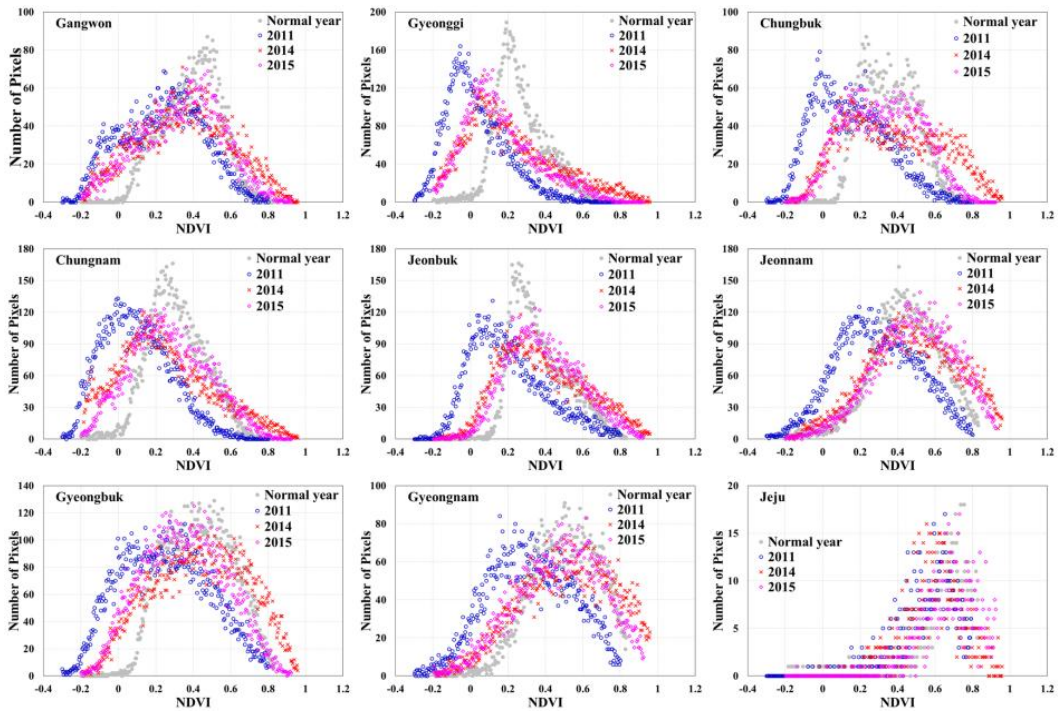


FIGURE 3. Histogram of single day(4/7) NDVI of paddy area

TABLE 1. Statistical results of NDVI distribution for paddy area

Year	Gangwon					Gyeonggi					Chungbuk				
	Pixel	Min	Mean	Max	STD	Pixel	Min	Mean	Max	STD	Pixel	Min	Mean	Max	STD
nmyr		0.00	0.38	0.68	0.10		-0.20	0.30	0.65	0.09		0.07	0.36	0.62	0.09
2011	7,099	-0.11	0.37	0.69	0.10	11,160	-0.30	0.26	0.59	0.09	6,761	0.00	0.33	0.64	0.09
2014		-0.01	0.44	0.79	0.13		-0.19	0.36	0.77	0.13		0.14	0.45	0.79	0.13
2015		-0.08	0.42	0.75	0.12		-0.12	0.33	0.74	0.10		0.07	0.42	0.71	0.10
Year	Chungnam					Jeonbuk					Jeonnam				
	Pixel	Min	Mean	Max	STD	Pixel	Min	Mean	Max	STD	Pixel	Min	Mean	Max	STD
nmyr		-0.20	0.33	0.65	0.10		-0.19	0.36	0.78	0.10		-0.20	0.41	0.84	0.13
2011	13,086	-0.30	0.30	0.63	0.10	11,131	-0.30	0.35	0.78	0.11	15,033	-0.30	0.38	0.80	0.16
2014		-0.18	0.38	0.79	0.13		-0.14	0.46	0.83	0.12		-0.17	0.50	0.96	0.13
2015		-0.18	0.39	0.76	0.11		-0.19	0.45	0.78	0.10		-0.19	0.51	0.93	0.12
Year	Gyeongbuk					Gyeongnam					Jeju				
	Pixel	Min	Mean	Max	STD	Pixel	Min	Mean	Max	STD	Pixel	Min	Mean	Max	STD
nmyr		-0.08	0.41	0.72	0.11		-0.20	0.45	0.74	0.12		-0.19	0.55	0.76	0.12
2011	14,689	-0.30	0.38	0.73	0.12	9358	-0.30	0.40	0.76	0.13	899	-0.30	0.54	0.80	0.11
2014		-0.05	0.48	0.80	0.13		-0.09	0.52	0.82	0.14		0.24	0.56	0.79	0.08
2015		-0.09	0.43	0.80	0.12		-0.19	0.50	0.87	0.13		0.10	0.62	0.88	0.09

nmyr : Normal year, STD : Standard Deviation

2015년은 0.76로 충남지역 또한 가뭄년도의 NDVI가 높은 것으로 나타났다. 가뭄지역이 아닌 제주도의 경우 논 지역의 픽셀수가 899개로 히스토그램으로는 분포가 잘 표현되지는 않았으나, 통계분석결과 평년의 평균 NDVI는 0.55, 2014년은 0.56으로 평년과 비슷한 NDVI를 나타내었다.

전국적으로 행정구역 내 최대 NDVI는 가뭄년의 경우 0.77~0.96, 평년은 0.62~0.84에 분포하였다. 또한 행정구역 내 평균 NDVI의 범위는 가뭄년과 평년 각각 0.36~0.56, 0.30~0.55임을 알 수 있었다. 표준편차 역시 평년의 평균은 0.10(0.09-0.13), 가뭄년(2014년)의 평균은 0.11(0.08-0.14)으로 가뭄 시 NDVI 분

포에 대한 표준편차가 큰 것을 알 수 있었으며, 이는 평년에 비해 가뭄년도의 식생 변화가 크게 발생하였다고 판단할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 논 건조 상태 및 식생 상태별 반사특성을 고려하여 정의한 DCI의 범위를 3단계로 구분하였으며, 이를 이용하여 가뭄 분석을 시도하였다. DCI가 0.05 미만인 경우에는 보통(I), 0.05~0.1은 약한건조(II), 0.1 이상은 심한건조(III)으로 정의하였다.

3. DCI를 이용한 2014, 2015년 가뭄 분석

그림 4는 2011, 2014~2015년의 3월부터 5월까지 논 지역에 대한 DCI를 산정한 결과로, 앞서 언급 한 바와 같이 평년이었던 2011년은

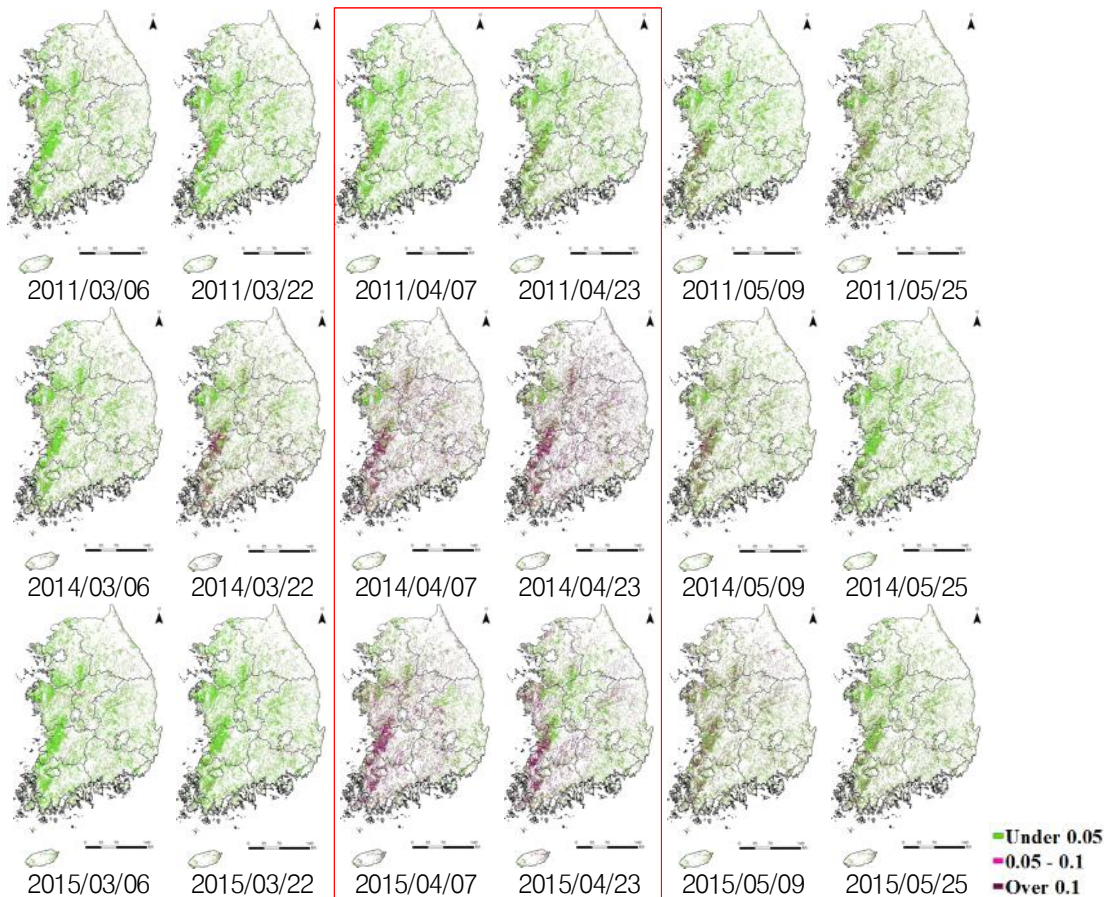


FIGURE 4. Comparison of dry paddy area with DCI(2011-2015)

가뭄기록이 없던 해로 DCI가 보통 상태(DCI < 0.05)를 나타내었으며, 가뭄년이었던 2014년과 2015년은 DCI가 가뭄상태를 나타내었다. 5월부터 해갈되는 것처럼 보이는 원인은 본격적인 논농사가 시작되기 전이나 혹은 이앙기 등 생육 초기 인 경우이므로 식생수준이 낮아 가뭄에 의한 영향이 쉽게 드러나지 않기 때문인 것으로 추정된다. 2014, 2015년 모두 전국적으로 가뭄상태를 보였으나, 특히 충남과 전북에서의 DCI가 심한건조(DCI ≥ 0.1) 상태로 가뭄심도가 큰 것으로 판단된다.

평년(2011)과 가뭄년(2014, 2015)의 식생지수 변화를 살펴보면, 논 지역의 가뭄년 DCI가 3월말(3/22)~5월초(5/9)에 평년보다 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 특히 4월 7일 영상은 3월 23일부터 4월 7일까지의 식생상태를 나타낸 것으로 DCI가 급증한 것을 알 수 있었다. NDMI를 활용한 봄철 논 지역 가뭄 파악에 있

어, 4월 달의 영상은 가뭄 사전감지에 매우 중요할 것으로 생각된다.

산정한 DCI의 면적 변화를 살펴보기 위하여 2011, 2014, 2015년의 4월 7일에 대하여 DCI 단계별 면적과 동일기간의 누적강수량 부족율을 정리하였다(표 2). DCI는 앞서 기술한 바와 같이 보통(I), 약한건조(II), 심한건조(III)의 3단계로 구별하여 도별 분포를 나타내었으며, 누적강수 부족율은 전국 63개 기상관측소의 일강수량자료를 이용하여, 역거리가중법(IDW: inverse distance weight method)으로 공간내삽시켜 생성시킨 후(Lee *et al.*, 2016), 1월 1일부터 4월 23일 까지 도별 누적강수량을 구축하였고 30년(1981-2010) 평년자료 대비 강수 비율을 정리하였다.

2011년은 심한건조(III) 단계인 지역이 남한 전체 농경지의 4.7%였고, 2014년과 2015년은 각각 35.3%, 29.8%로 나타나 2014년의 건조

TABLE 2. Area distribution by DCI ranges(km²) and accumulated rainfall(mm) of South Korea in 7 April

Province	DCI (km ²)												Accumulated rainfall (mm)		
	2011				2014				2015				2011	2014	2015
	I	II	III	Total	I	II	III	Total	I	II	III	Total			
Gangwon	1,440.0 [81.6]	209.3 [11.9]	114.5 [6.5]	1,763.8 [100.0]	873.5 [49.5]	351.5 [19.9]	538.3 [30.5]	1,763.3 [100.0]	910.3 [51.6]	458.8 [26.0]	394.5 [22.4]	1,763.5 [100.0]	106.3 (65.1)	124.4 (76.2)	89.2 (54.6)
Gyeonggi	2,625.3 [94.6]	100.5 [3.6]	50.5 [1.8]	2,776.3 [100.0]	1,428.80 [51.9]	569 [20.7]	756.8 [27.5]	2,754.5 [100.0]	1,755.3 [63.5]	575 [20.8]	433 [15.7]	2,763.30 [100.0]	73.2 (54.5)	45.5 (33.9)	85.7 (63.9)
Chungbuk	1,545.3 [91.7]	96 [5.7]	43.3 [2.6]	1,684.5 [100.0]	566.5 [33.0]	365.3 [21.7]	762.8 [45.3]	1,684.5 [100.0]	698.5 [41.5]	501 [29.7]	485 [28.8]	1,684.5 [100.0]	96.1 (62.3)	84.5 (54.8)	121.3 (78.7)
Chungnam	2,973.0 [91.5]	181 [5.6]	95.5 [2.9]	3,249.5 [100.0]	1,764.50 [54.9]	630.8 [19.6]	820.5 [25.5]	3,215.8 [100.0]	1,409.5 [43.6]	949 [29.4]	872.5 [27.0]	3,231.0 [100.0]	97.4 (61.0)	76.1 (47.7)	128.8 (80.7)
Jeonbuk	2,309.5 [83.3]	272.5 [9.8]	190 [6.9]	2,772.0 [100.0]	948.3 [34.4]	659.5 [23.9]	1,152.8 [41.8]	2,760.5 [100.0]	791.5 [28.6]	762.5 [27.6]	1,212.8 [43.8]	2,766.8 [100.0]	111.0 (59.0)	112.1 (59.6)	135.8 (72.3)
Jeonnam	3,086.3 [83.5]	319.8 [8.7]	289.5 [7.8]	3,695.5 [100.0]	1,249.00 [34.7]	821.5 [22.9]	1,524.0 [42.4]	3,594.5 [100.0]	1,121.3 [30.8]	849.3 [23.3]	1,672.5 [45.9]	3,643.0 [100.0]	151.2 (68.9)	157.4 (71.7)	205.9 (93.8)
Gyeongbuk	3,223.0 [88.1]	287.3 [7.8]	149.3 [4.1]	3,659.5 [100.0]	1,470.30 [40.2]	855.3 [23.4]	1,332.5 [36.4]	3,658.0 [100.0]	2,182.3 [59.6]	696 [19.0]	781.3 [21.3]	3,659.5 [100.0]	104.9 (64.3)	126.4 (77.5)	108.8 (66.7)
Gyeongnam	2,088.8 [89.9]	135.8 [5.8]	100 [4.3]	2,324.5 [100.0]	947 [41.1]	509.5 [22.1]	846.8 [36.8]	2,303.3 [100.0]	1,174.0 [50.7]	497.5 [21.5]	645.5 [27.9]	2,317.0 [100.0]	125.6 (57.7)	139.8 (64.2)	167.3 (76.9)
Jeju	185.3 [83.1]	23.5 [10.5]	14.3 [6.4]	223 [100.0]	167.5 [76.0]	29.3 [13.3]	23.5 [10.7]	220.3 [100.0]	96.8 [44.0]	45.8 [20.8]	77.3 [35.2]	219.8 [100.0]	168.1 (49.3)	308.6 (90.5)	385.8 (113.1)
Total	19,476.3 [87.9]	1,625.5 [7.3]	1,046.8 [4.7]	22,148.5 [100.0]	9,405.30 [42.8]	4,791.5 [21.8]	7,757.8 [35.3]	21,954.5 [100.0]	10,139.3 [46.0]	5,334.8 [24.2]	6,574.3 [29.8]	22,048.3 [100.0]	114.9 (60.3)	130.5 (64.0)	158.7 (77.9)

DCI : I : Normal (-2.0~0.05), II : Moderately Dryness (0.05~0.1), III : Severely Dryness (0.1~1.0)

Accumulated Rainfall : 1/1 ~ 4/7

[] : Percentage of DCI area compared to total.

() : Percentage of accumulated rainfall compared to average year

의 심도가 컸음을 알 수 있었다. 특히, 2014년 충북, 전남, 전북은 45.3%, 42.4%, 41.8%로 그 해 1월부터 4월 7일까지의 누적강수량이 평년대비 54.8%, 71.7%, 59.6%로 줄어들어 따라 강수량 부족에 의한 건조심도의 증가로 나타났다.

2015년의 약한건조(II) 단계 지역은 남한 전체 24.2%로 전년(2014)대비 2.4% 증가했고, 건조심도가 크게 나타난 충남, 전북, 전남은 약한건조 단계의 면적이 전체의 29.4%, 27.6%, 23.3%으로 전년대비 9.8%, 3.7%, 0.4% 증가했으며, 심한건조 단계는 전남 45.9%, 전북 43.8%, 충남 28.8%로 전년대비 각각 3.5%, 2.0%, 1.5% 증가했다. 2015년의 전국 누적강수량이 평년대비 77.9%로 2011년(60.3%)과 2014년(64.0%) 보다 많게 분석되었음에도 건조심도가 큰 원인은 2014년의 가뭄이 2015년으로 천이(Carry over)되었기 때문으로 판단된다.

4. SPI-12 및 강수량을 이용한 DCI의 3월

가뭄 표현 가능성 검토

본 연구에서 3월 23일부터 4월 7일까지의 식생자료인 4월 7일 영상을 이용하여 논 지역

에 대한 3월 말 가뭄 표현 가능성을 검토하였다. 산정한 DCI의 활용성을 평가하기 위해 가뭄 기록 및 기상학적 가뭄지수인 SPI-12와 관측 자료 기반의 평년대비 누적강수 부족율과의 공간 변동성을 분석하였다.

표 3은 2000년부터 2015년까지 산정한 행정구역별 DCI 평균값과 가뭄 기록을 정리한 것이다 이 중 전국적 봄 가뭄이었던 2001, 2014, 2015년의 남한 평균 DCI는 각각 0.07, 0.08, 0.06이었으며, 가뭄 기록의 가뭄 발생 지역과 DCI에서 산정된 건조지역(DCI \geq 0.05)이 유사하게 나타났다. 가뭄 기록이 있었지만 4월 7일 영상에서 건조지역이 감지되지 않은 2012년의 경우, 16일 이후의 영상(4월 23일)영상을 분석한 결과 경기, 경남 지역을 제외한 모든 지역이 건조(DCI \geq 0.05)한 것으로 분석되었다.

가뭄이었던 해의 전국 평균 DCI의 분포는 0.04~0.08이었고, 그에 비해 가뭄 기록이 없던 해의 분포는 -0.04~0.01로 본 연구에서 산정한 건조지수가 가뭄을 잘 표현 하는 것으로 나타났다. 특히 봄 가뭄이었던 2001, 2012, 2014-2015의 DCI의 평균 분포는 0.06~0.08으로

TABLE 3. The results of DCI in 7 April and Historical Agricultural Drought event of Korea

Year	DCI (value)										Historical Drought event of Korea		
	GW	GG	CB	CN	JB	JN	GB	GN	JJ	Avg.	Area	Month	
2000	-0.02	-0.04	-0.04	-0.03	-0.04	-0.06	-0.05	-0.05	-0.02	-0.04			
2001	0.09	0.08	0.11	0.07	0.06	0.05	0.07	0.06	0.03	0.07	All	2~6	
2002	0	-0.01	0	0	-0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01			
2003	-0.01	0.05	0	0	0.01	0	0.02	0.03	0.01	0.01			
2004	-0.01	-0.01	0	0	0	0.02	-0.01	0	0.01	0			
2005	-0.02	-0.04	-0.02	-0.01	-0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	-0.01			
2006	-0.01	0	0	0.01	-0.01	-0.01	0	0.01	0	0	CN, JB, JN, GN	10	
2007	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0	0.02	0.01	0.01			
2008	0.03	0.07	0.06	0.05	0.02	0.02	0.04	0.04	0.01	0.04	GW, JN, GN	9-12	
2009	0.02	0.01	0.08	0.08	0.05	0.02	0.08	0.05	-0.01	0.04	GW, JN, GN	1-3	
2010	-0.02	-0.04	-0.04	-0.02	-0.01	0	-0.03	-0.03	0	-0.02			
2011	0	-0.04	-0.02	-0.03	-0.02	-0.03	-0.03	-0.05	-0.03	-0.03			
2012	4/7	-0.02	-0.04	-0.03	-0.03	-0.02	-0.01	-0.03	-0.03	-0.01	-0.02	GG, CN, JB, JN	5-6
	4/23	0.09	0.03	0.07	0.05	0.08	0.06	0.06	0.04	0.05	0.06		
2013	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.02	-0.04	-0.02	-0.04	-0.01	-0.03			
2014	0.07	0.10	0.12	0.08	0.09	0.10	0.09	0.08	0	0.08	All	1-12	
2015	0.05	0.05	0.07	0.07	0.08	0.10	0.02	0.04	0.05	0.06	All	1-12	

GW: Gangwon, GG: Gyeonggi, CB: Chungbuk, CN: Chungnam, JB: Jeonbuk, JN: Jeonnam, GB: Gyeongbuk, GN: Gyeongnam, JJ: Jeju

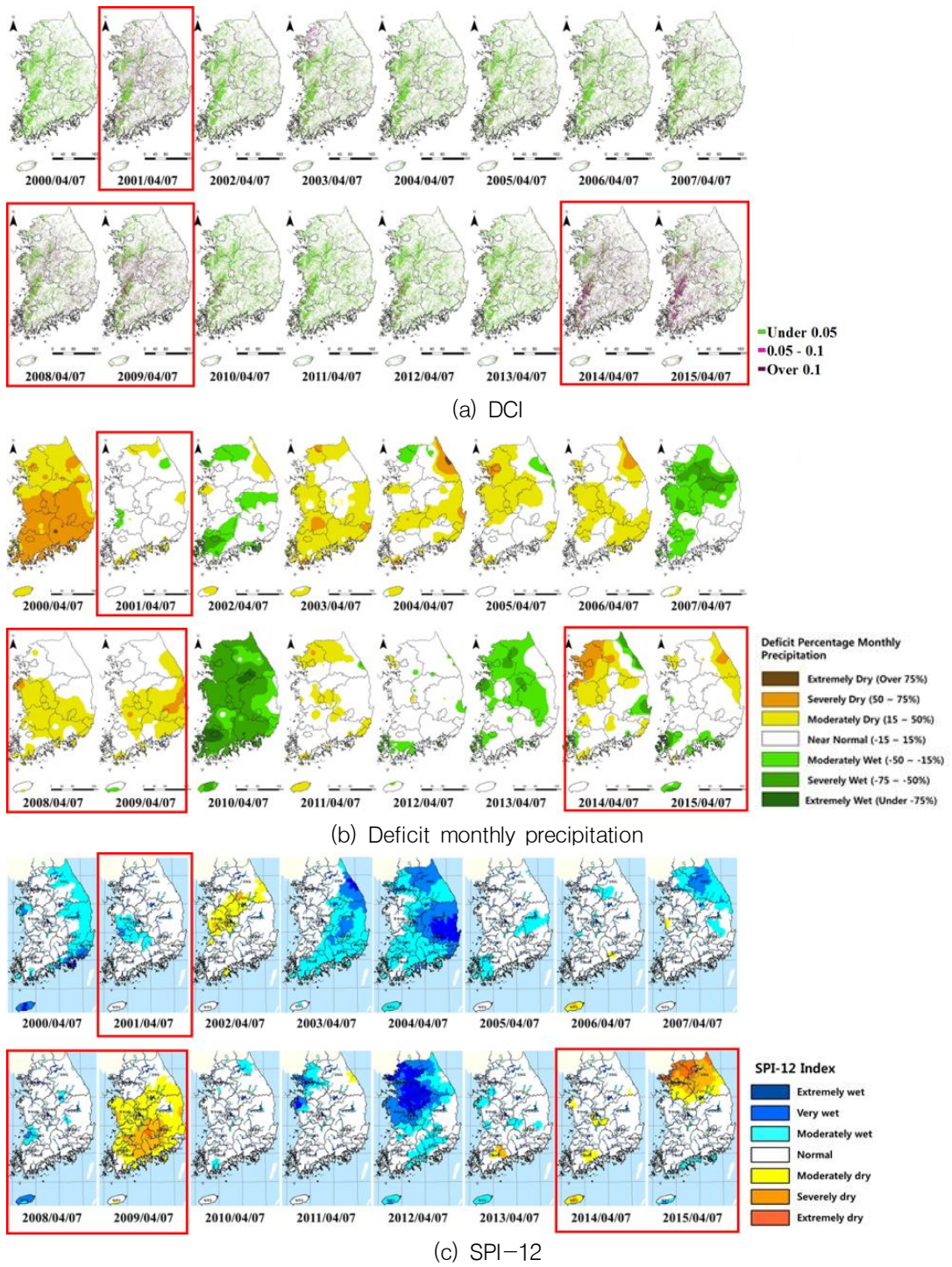


FIGURE 5. Comparison of agricultural drought and normal year

4월 영상이 봄 가뭄을 잘 표현함을 알 수 있었다.

그림 5는 2000년부터 2015년까지의 4월 7일에 대해 DCI, 평년대비 누적강수 부족율, SPI-12를 도시한 것으로 표 3에서 정리한 바와 같이 가뭄년도인 2001, 2008, 2009, 2014, 2015년에서 DCI가 건조상태에 따른 가뭄을 잘 표현하는 것으로 나타났다. 2001년 가뭄의 경우 DCI가 가뭄기록조사보고서(2001)와 동일하게 충남, 전북지역을 제외한 전국적인 가뭄을 표현하였고 2008년은 DCI 및 누적강수 부족율에서 충청지역과 경상남도의 가뭄을 감지했다. 2008년에 이어 극심한 가뭄을 겪었던 2009년은 충청도 지역과 강원 남부지역으로 가뭄이 확산된 것을 확인할 수 있었으며, 동일한 지역에서 누적강수 부족율 및 SPI-12도 가뭄상태를 나타내었다. 전국적인 가뭄이었던 2014, 2015년은 산정한 DCI가 도시지역인 수도권 일부를 제외하고 가뭄을 잘 표현한 것으로 판단된다. 이와 같이 DCI, SPI-12 및 누적강수 부족율과 공간분포를 비교한 결과, DCI와 누적강수 부족율은 유사한 경향을 나타내었다. SPI-12의 경우 가뭄의 발생 범위에 대한 차이가 발생 하였지만, 전체적인 가뭄의 공간분포는 유사한 결과가 도출되었다.

SPI 가뭄지수의 경우 강수량만을 입력자료로 이용하기 때문에 산정방법이 단순하여 여러 기관에서 널리 적용되고 있다. 그러나 SPI는 지점 관측자료를 기반으로 공간 분포시켜 산정한 결과이기 때문에 공간적인 정확성이 낮아 시군구 단위의 행정 단위의 가뭄 분석 시 불확실성이 커진다. MODIS 기반의 DCI의 경우 시간해상도는 16일, 공간해상도는 250m로 지역별 가뭄상황에 대한 시·공간적 건조 상태에 따른 가뭄의 정보제공이 가능하다. 또한 DCI를 통해 평년 대비 현재 가뭄에 대한 상대 비교가 가능하며 이를 통해 가뭄 대응차원에서 물 공급이 우선적으로 이루어져야 하는 지역에 대한 판별 역시 추가적으로 가능해질 것으로 생각된다. 특히 4월 달 영상은 가뭄의 확산 및 시기별 특성을 파악하기 위한 건조지도 작성이 용이하며, 가뭄을 사전 감지하는 자료로서 활용이 가능 할 것으로 판단된다.

결론


본 연구는 Terra MODIS 위성영상을 이용하여 봄철 전국의 논 지역의 건조상태를 공간적으로 분석하고자 DCI를 산정하였다. 산정된 건조지수를 이용하여 가뭄이었던 2014, 2015년과 평년인 2011년에 대해 적용하여 강수량과의 상관관계를 분석하였으며, 과거 16년(2000~2015) 동안의 위성영상을 수집하여 DCI를 적용하여 과거 가뭄기록과의 비교를 통해 3월 말 논 가뭄에 대한 위성영상의 활용 가능성을 판단하였다. 본 연구의 결과를 요약 하면 다음과 같다.

첫째, 가뭄년(2014, 2015)과 평년 및 2011년에 대하여 2월 2일부터 7월 28일까지의 논 지역의 NDVI를 도 별로 비교한 결과, 4월 7일부터 5월 25일의 가뭄년 NDVI는 평년 및 2011년에 비해 빠르게 증가하였다. 3월말부터 4월초는 모내기애 앞서 논물잡이 시기로, 가뭄년의 경우 강수량의 부족 및 용수공급 제한 등으로 인해 토양이 메말라졌고, 메마른 상태의 토양은 물 또는 습윤한 토양 보다 높은 식생지수를 갖기 때문인 것으로 판단된다.

둘째, 가뭄에 대한 NDVI의 공간적 변화분포를 살펴보기 위해 가뭄시기와 평년의 이미지 연산을 통해 식생지수 변화지역 분석을 위해 DCI를 산정하였다. DCI에 의한 건조단계는 평년과 가뭄 시기의 NDVI의 픽셀분포를 살펴보고 히스토그램의 작성과 통계분석을 통해 DCI가 0.05 미만인 경우에는 보통(I), 0.05~0.1은 약한건조(II), 0.1 이상은 심한건조(III)로 정의하였다. 2011, 2014~2015년의 3월부터 5월까지 논 지역에 대한 DCI를 산정한 결과, 평년이었던 2011년은 가뭄기록이 없던 해로 DCI가 보통 상태를 나타내었으며, 가뭄년인 2014년과 2015년에서 가뭄상태를 잘 표현한 것으로 분석되었다. 2011, 2014, 2015년의 4월 7일에 대하여 DCI 단계별 면적과 동일기간의 누적강수량을 분석한 결과, 2011년은 심한건조(III) 단계인 지역이 남한 전체 농경지의 4.7%였고, 2014년과 2015년은 각각 35.3%, 29.8%로 나타나 2014년의 봄 철 논지역의 건조심도가 컸음을

확인하였다.

셋째, 2000년부터 2015년까지의 4월 7일에 대해 DCI를 산정한 결과, 가뭄년도인 2001, 2008, 2009, 2014, 2015년에서 DCI가 가뭄을 잘 표현하는 것으로 나타났다. 2008년 가뭄의 경우 DCI가 강원 영동 지방 및 충청지역의 가뭄을 나타내었고, 2008년에 이어 극심한 가뭄을 겪었던 2009년은 충청도 지역과 강원 남부지역으로 가뭄이 확산된 것을 확인할 수 있었다. 전국적인 가뭄이었던 2001, 2014, 2015년은 산정한 DCI가 도시지역인 수도권 일부를 제외하고 가뭄을 잘 표현한 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 2000~2015년의 봄철 DCI를 산정한 결과, 가뭄년의 3월말(3/22)~5월초(5/9)에 논의 DCI가 가뭄의 상황을 잘 표현하는 것으로 나타났다. NDVI를 활용한 봄철 농업 가뭄 파악에 있어, 평년과 가뭄년의 논의 계절학적 상태를 명확히 이해하는 것이 중요할 것으로 생각된다. 특히 4월 초의 영상은 가뭄의 확산 및 시기별 특성을 파악하기 위한 건조지도 작성이 용이하며, 가뭄을 사전 감지하는 자료로서 활용이 가능할 것으로 사료된다. 다만 DCI가 평년 NDVI에 대한 상대적 건조상태를 나타내는 지수로서 평균값에 따라 절대값의 차이가 발생할 수 있는 한계점이 있고, DCI 범위 설정에 있어 현재는 보통(I), 약한건조(II), 심한건조(III)의 3단계로만 구별하였기 때문에 DCI의 적용성을 높이기 위한 건조 단계 설정에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다. 

REFERENCES

- Ahn, S.R., J.W. Lee, and S.J. Kim. 2014. Analysis of 2012 spring drought using meteorological and hydrological drought indices and satellite-based vegetation indices. *Korean National Committee on Irrigation and Drainage* 21(1):78-88 (안소라, 이준우, 김성준. 2014. 기상 및 수문학적 가뭄지수와 위성 식생지수를 활용한 2012년 봄 가뭄 분석. *한국관개배수위원회* 21(1):78-88).
- Bae, D.H. and K.H. Son. 2013. The status and development direction for domestic drought forecast. *Magazine of Korea Water Resources Association* 45(5):46-54 (배덕효, 손경환. 2013. 국내가뭄예보 현황 및 발전방향. *물과미래* 45(5):46-54).
- Baek, S.G., H.W. Jang, J.S. Kim, and J.H. Lee. 2016. Agricultural drought monitoring using the satellite-based vegetation index. *Journal of Korea Water Resources Association* 49(4):305-314 (백승기, 장호원, 김종석, 이주현. 2016. 위성기반의 식생지수를 활용한 농업적 가뭄감시. *한국수자원학회 논문집* 49(4):305-314).
- Chakroun, H., F. Mouillot, Z. Nasr, A. Ennajah, and J.M. Ourcival. 2014. Performance of LAI-MODIS and the influence on drought simulation in a Mediterranean forest. *Ecology* 7(3):1014-1028.
- Huete, A.R., C. Justice, and Wim van Leeuwen. 1999. MODIS Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document Version 3. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/2204/b55a9ad69e8b69d19e88ad1f0e1f81a5d72b.pdf> (Accessed: April 1994).
- Jung, S.T., K.C. Jang, S.Y. Hong, and S.K. Kang. 2011. Detection of irrigation timing and the mapping of paddy cover in Korea using MODIS images data. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 13(2):69-78 (정승택, 장근창, 홍석영, 강신규. 2011. MODIS 영상자료를 이용한 관개시기 탐지와 논 피복지도 제작. *한국농림기상학회지* 13(2):69-78).
- Karnieli, A., N. Agam, R.T. Pinker, M. Anderson, M.L. Imhoff, G.G. Gutman, N.

- Panov, and A. Goldberg. 2008. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: merits and limitations. *Journal of Climate* 23:618-633.
- KMA(Korea Meteorological Administration). 2015. 2014년 이상기후에 대한 관계부처 합동보고서 발간. Available at: http://web.kma.go.kr/servlet/NeoboardProcess;jsessionid=XEE1vuj3ewMVjirvmP1HaZ2ttwhCuKpOWmsM9ehPRcDBwQDvqiDskzaKViA12gTG?mode=download&bid=press&num=1192963&fno=2&callback=http%3A%2F%2Fweb.kma.go.kr%2Fnotify%2Fpress%2Fkma_list.jsp&ses=USERSESSION&k=ATC201501191416332_a16995c2-f5b6-4c0a-a2d9-8aa92c0505cc.pdf (Accessed: January 19, 2015).
- KRC(Korea Rural Community Corporation) 2012. Drought white paper. pp.63-65 (한국농어촌공사. 2012. 가뭄백서. 63-65쪽).
- Lee, J.W., S.S. Jang, S.R. Ahn, K.W. Park, and S.J. Kim. 2016. Evaluation of the relationship between meteorological, agricultural and in-situ big data droughts. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 19(1):1-13 (이지완, 장선숙, 안소라, 박기욱, 김성준. 2015. 기상학적 가뭄, 농업 가뭄 및 빅데이터 현장가뭄간의 상관성 평가. *한국지리정보학회지* 19(1):1-13).
- Lee, Y.G., S.H. Kim, S.R. Ahn, M.H. Choi, K.S. Lim, and S.J. Kim. 2015. Estimation of spatial evapotranspiration using Terra MODIS satellite image and SEBAL Model-for Yongdam Dam watershed-. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 18(1):90-104 (이용관, 김상호, 안소라, 최민하, 임광섭, 김성준. 2015. Terra MODIS 위성영상과 SEBAL 모형을 이용한 공간증발산량 산정 연구 -용담댐 유역을 대상으로-. *한국지리정보학회지* 18(1):90-104).
- MCT(Ministry Construction and Transportation). 2001. Drought impact survey report. pp.1-6 (건설교통부. 2001. 가뭄기록조사 보고서. 1-6쪽).
- Park, H.S., M.J. Um, J.B. Kim, and Y.J. Kim. 2015. MODIS DSI for evaluation of the local drought events in Korea. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 35(6):1209-1218 (박혜선, 엄명진, 김정빈, 김연주. 2015. 우리나라의 지역 가뭄 평가를 위한 MODIS DSI 활용. *대한토목학회논문집* 35(6):1209-1218).
- Park, J.S. and K.T. Kim. 2009. Evaluation of MODIS NDVI for drought monitoring: focused on comparison of drought index. *The Journal of GIS Association of Korea* 17(1):117-129 (박정술, 김경탁. 2009. 가뭄모니터링을 위한 MODIS NDVI의 활용성 평가: 가뭄지수와의 비교를 중심으로. *한국GIS학회지* 17(1):117-129).
- Park, W.Y., Y.D. Eo, Y.M. Kim, and C.J. Kim. 2013 A study on the priority area selection for updatation FDB attributes using MODIS product. *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology* 16(1):65-73 (박완용, 어양담, 김용민, 김창재. 2013. MODIS Product를 활용한 FDB 속성 갱신 대상지역 선정연구. *한국군사과학기술학회지* 16(1):65-73).
- Rural Research Institute. 2005. A study on water supply methods considering variation of farming conditions in paddy field. Research report pp.17-23 (농어촌연구원. 2005. 영농환경 변화를 고려한 농업용수 적정 공급방안 연구. 연구보고서 17-23쪽).
- Shin, H.J., M.J. Park, E.H. Hwang, H.S. Chae, and S.J. Kim. 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 가뭄연구 -소양강댐유역을 대상으로-. *한국지리정보학회지* 18(4): 145-157).
- Shin, S.C. and M.S. Eoh. 2004. Analysis of drought detection and propagation using satellite data. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 4(2):61-70 (신사철, 어민선. 2004. 인공위성 영상정보를 이용한 가뭄상황 및 징후분석. *한국방재학회논문집* 4(2):61-70).
- Shin, S.C., S. Jung, K.T. Kim, J.H. Kim, and J.S. Park. 2006. Drought detection and estimation of water deficit using NDVI. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 9(2): 102-114 (신사철, 정수, 김경탁, 김주훈, 박정술. 2006. NDVI를 이용한 가뭄지역 검출 및 부족수분량 산정. *한국지리정보학회지* 9(2):102-114).
- Son, N.T., C.F. Chen, C.R. Chen, L.Y. Change, and V.Q. Minh. 2012. Monitoring agricultural drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI and land surface temperature data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18:417-427.
- Sun, H., X. Zhao, Y. Chen, A. Gong, and J. Yang. 2013. A new agricultural drought monitoring index combining MODIS NDWI and day-night land surface temperatures : a case study in China. *International Journal of Remote Sensing* 34(24):8986-9001.
- Sur, C.Y., K.J. Kim, W.J. Choi, J.H. Shim, and M.H. Cho. 2014. Drought assessments using satellite-based drought index in Korea; southern region case in 2013. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 14(3):127-131 (서찬양, 김경준, 최우정, 심재현, 최민하. 2014. 인공위성 가뭄 지수를 활용한 한반도 가뭄 평가; 2013년 남부지방 가뭄을 대상으로. *한국방재학회논문집* 14(3):127-131).
- Wan, Z., P. Wang, and Li, X. 2004. Using MODIS land surface temperature and Normalized Difference Vegetation Index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing* 25(1):61-72.
- Yoo, J.Y., M.H. Choi, and T.W. Kim. 2010. The utilization of MODIS LST imagery for droughts monitoring in the Korean Peninsula. *Proceedings of Magazine of the Korean Society of Hazard Mitigation* p.104 (유지영, 최민하, 김태웅, 2010. 한반도 가뭄모니터링을 위한 MODIS LST영상자료의 활용, *한국방재학회 학술대회* 104쪽).