

가뭄모니터링을 위한 MODIS NDVI의 활용성 평가: 가뭄지수와 비교를 중심으로

박정술* · 김경탁**

Evaluation of MODIS NDVI for Drought Monitoring : Focused on Comparison of Drought Index

Jung-Sool Park* · Kyung-Tak Kim**

요 약

2000년 이후 빈번하게 발생하고 있는 봄 가뭄을 모니터링하기 위한 방법의 하나로 위성영상을 이용하여 제작한 식생지수의 변화를 통해 가뭄을 간접적으로 추정하는 연구가 수행되고 있다. 식생지수 기반의 가뭄 모니터링은 가뭄의 변화를 시·공간적으로 효과적으로 파악할 수 있다는 장점을 갖고 있으며 MODIS 영상과 같이 주기 해상도가 뛰어난 저해상도 위성영상의 활용 기반이 조성됨에 따라 가뭄모니터링을 위한 식생지수의 활용성은 더욱 증가할 것으로 예상된다. 식생지수를 이용한 가뭄평가는 식생 활력에 영향을 주는 요소를 기상학적 요인으로 제한하고 있으나 실제 식생 스트레스를 초래하는 직·간접적인 원인은 매우 다양하며 이로 인해 식생지수를 이용한 가뭄평가는 다수의 불확실성이 내포되어 있다고 할 수 있다. 따라서 식생지수를 이용한 가뭄분석의 객관성을 확보하고 이를 활용한 가뭄모니터링 체계를 구축하기 위해서는 가뭄관리를 위해 활용되고 있는 대표적인 가뭄분석 도구와의 비교가 선행되어야 할 것이다. 본 연구에서는 대표적인 식생지수인 NDVI를 기상학적 가뭄지수인 PDSI, SPI와 비교하고 이들의 상관성을 제시함으로써 가뭄평가를 위한 식생지수의 활용성을 제시하고자 하였다. 연구결과 다중시기를 대상으로 NDVI와 지속기간 6개월의 SPI변화패턴은 유사하게 나타났으며 NDVI는 식생피복을 갖는 내륙지역에서 가뭄지수와 가장 높은 상관성을 갖는 것으로 나타났다.

주요어 : 가뭄, MODIS, NDVI, SPI, PDSI

ABSTRACT : South Korea has been undergoing spring drought periodically and diverse researches using vegetation index have been carried out to monitor spring droughts. The strength

*한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 수자원연구실 연구원(parkjs@kict.re.kr)

**한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 수자원연구실 책임연구원(ktkim1@kict.re.kr)

of the vegetation index-based drought monitoring is that the monitoring method enables efficient spatio-temporal grasp of changes in drought events. According to the development of low resolution satellite images such as MODIS, which are characterized by outstanding temporal resolution, the use of the method is expected to increase. Drought analysis using vegetation index considered only meteorological factor as a cause that affects vitality of vegetation. But many indirect and direct factors affect vegetation stress, So many uncertainties are involved in such method of analysis. To secure objectivity of drought analysis that uses vegetation index it is therefore necessary to compare the method with most representative drought analysis tools that are used for drought management. In this study, PDSI and SPI which a meteorological drought index that quantifies drought and that is used as a basic index for drought monitoring and MODIS NDVI are compared to propose correlation among them and to show usefulness of drought assessment that uses vegetation index. This study shows changing patterns of NDVI and SPI 6-month are similar and correlation between NDVI and SPI was highest in inland vegetation cover.

Keywords : Drought, MODIS, NDVI, SPI, PDSI

1. 서 론

한반도에서 발생하는 주기적인 가뭄을 모니터링하기 위한 방안의 하나로 위성영상을 이용해 제작한 식생지수의 변화를 분석하여 가뭄을 추정하는 연구가 수행되고 있다(신사철과 김철준, 2003; 신수현, 2005; 박정술 등, 2006). 식생지수를 이용한 가뭄평가 기법은 1990년대 이후 건조 지역을 대상으로 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)를 활용하여 적용되어 왔으며 가뭄 모니터링을 위한 식생지수 기반의 다양한 지수의 개발(Kogan, 1995; Peters *et al.*, 2002)과 동시에 NDVI의 활용성을 제시

하기 위해 기존의 가뭄지수 및 기상인자와의 다양한 비교 결과가 제시되었다.

Gutman(1990)은 NOAA AVHRR-NDVI와 PDSI(Palmer Drought Severity Index)를 비교하였으며 Unganai와 Kogan(1998)은 NDVI 기반으로 제작된 VCI(Vegetation Condition Index)를 정상강우백분율과 비교하였다. Ji와 Peters (2003)는 농경지와 초지에 대하여 NDVI를 기상학적 가뭄지수인 SPI(Standardized Precipitation Index)와 비교하였으며 식생지수는 SPI-3개월과 가장 높은 상관성을 갖으며 식생의 활력이 큰 경우 상관계수는 0.6~0.8의 값을 갖고 있음을 제시하였다.

국내에서는 Landsat TM에서 제작한 NDVI를 Tasseled cap의 Wetness value와 비교하여 가뭄지역을 판별하려는 연구(박은주 등, 2002)가 수행된 바 있으며, NOAA AVHRR NDVI

를 이용하여 연도별 VCI 분포도를 제작하고 이를 이용하여 가뭄위험지역을 제시한 연구(신사철과 김철준, 2003)와 4km 해상도의 GAC(Global Area Coverage) NDVI를 이용하여 남·북한의 가뭄발생시기를 탐지하고 토지피복별로 기상학적 가뭄지수와 상관성을 분석한 연구(신수현, 2005)가 수행되었다. 또한, 박정술 등(2006)은 MODIS(MODerate resolution Image Spectroradiometer) NDVI 및 LSWI (Land Surface Water Index), LST(Land Surface Temperature)와 누가강우량을 비교하였으며 식생지수는 고도 및 토지피복에 큰 영향을 받으므로 이를 이용한 가뭄평가를 위해서는 동일시점 및 동일공간을 대상으로 한 분석이 요구됨을 제시하였다. 식생지수를 통해 가뭄을 직접적으로 판별한 이러한 연구 외에 신사철 등(2006)은 NDVI와 기온, 증발산량과의 상관성을 통해 실제증발산량을 산정하고 기후학적 물수지 분석을 통해 부족수분량을 계산하여 물 부족의 심도를 파악하기도 하였다.

이와 같이 가뭄평가를 위한 식생지수의 활용연구가 지속적으로 수행되고 있으나 식생지수를 체계적으로 활용하기 위한 국내의 기반은 부족한 편이며 이는 장기간 축적된 식생지수를 공급할 수 있는 체계의 부재 및 식생지수를 이용한 가뭄분석의 활용성이 검증되지 못한 것이 주요 원인이라 할 수 있다. 식생지수를 이용한 가뭄분석의 경우 식생 활력에 영향을 주는 요소를 기상학적 요인으로 제한하고 있으나 실제 식생의 변화를 유발하는 식생스트레스는 재해, 영양부족, 인간 활동 등 다수의 직·간접적인 요인에 의해 발생하며 이러한 원인들의 영향을 배

제하고 수행되는 식생지수 기반의 가뭄분석의 활용성을 확보하기 위해서는 신뢰성 있는 기존의 가뭄분석 도구와의 비교가 선행되어야 할 것이다. 이에 본 연구에서는 손쉽게 확보가 가능하며 NOAA AVHRR NDVI에 비해 향상된 공간·분광·방사 해상도를 보유한 MODIS NDVI를 활용하여 대표적인 가뭄분석 도구인 PDSI 및 SPI와의 상관성 분석을 수행하였으며 이를 통해 한반도 온대기후대에서 가뭄모니터링을 위한 MODIS NDVI의 활용성과 효과적인 활용방안을 제시하고자 하였다.

2. MODIS NDVI와 가뭄지수

2.1 NDVI

식생지수는 단위가 없는 복사값으로 식물의 양과 반비례를 나타내는 적색광 영역의 엽록소 흡수현상과 식물의 양과 비례 관계를 나타내는 근적외선 영역에서의 잎의 산란효과를 기초로 위성영상의 밴드조합을 통해 계산된다. 식생지수는 식생의 시공간적 변화탐지를 효과적으로 수행할 수 있는 도구로 지구 기후 감시와 생물권의 상호작용 모델링 및 천연자원 관리, 농업작물 감시 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며(Huete et al., 1999) 수문학 분야에서는 LAI(Leaf Area Index)나 증발산량과 같은 수문모형의 입력 인자의 추정을 위해 사용되기도 한다. 현재 까지 약 20여 종류의 식생지수가 사용되고 있는 가운데 정규식생지수(NDVI)는 식 (1)과 같이 적외선 영역과 근적외선 영역의 밴드 조합을 통해 계산된다.

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

ρ_{NIR} : 근적외선 밴드의 분광반사도,

ρ_{RED} : 적외선 밴드의 분광반사도

NDVI는 -1에서 1의 범위를 가지며 식생분석을 위해 가장 광범위하게 활용되고 있다. 일반적으로 육지의 물체들은 0~0.8 사이의 값을 나타내며 식생의 모니터링 수단으로 NDVI는 계절별, 특정 시기별 식생활동을 비교하여 광합성 활동, 성장 주기, 최초 및 최고 성장시기, 잎의 변화 시기 등의 정보를 제공한다(Huete et al., 1999). NDVI를 이용한 가뭄평가는 식생활력의 변화를 기상요소의 변화에 따른 영향으로 한정하여 동일한 위치와 시기에서의 픽셀값의 변화를 통해 가뭄을 판별한다. NDVI는 토지피복과 같은 공간적 변이나 계절과 같은 시간적 변이는 고려되지 않기 때문에 NDVI의 상대적 변화를 비교할 수 있는 VCI(Kogan, 1995)나 SVI(Peters et al., 2002)와 같은 NDVI 기반의 가뭄지수가 개발되어 활발히 사용되고 있다.

2.2 MODIS Data Product

MODIS는 1999년 발사된 Terra 위성과 2002년 발사된 Aqua 위성에 탑재된 36개의 채널로 구성된 센서로 Terra 위성과 Aqua 위성은 1일 2회씩 전지구 표면을 관측하므로 일단위로 최대 4매의 영상의 활용이 가능하다. MODIS 영상은 생물권의 광범위한 변화를 모니터링하기 위한 목적으로 운영중이며 사용상의 제약 없이 누구나 무료로 활용할 수 있는 장점이 있다. 또한, MODIS 영상 제

공을 위한 시스템이 전 세계적으로 구축되어 있어 육지, 해양, 대기 등 다양한 분야에서 가장 광범위하게 활용되고 있는 영상이다. 국내에서도 일본의 WebMODIS(<http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/>)나 항공우주연구원의 MODIS 제공 시스템(<http://webmodis.kari.re.kr/webmodis/index.jsp>)을 통해 손쉽게 활용이 가능하다.

본 연구에서는 미국 NASA에서 운영중인 EOS(Earth Observing System) Data Gateway(<https://wist.echo.nasa.gov/api/>)를 통해 월 간격으로 제작된 NDVI product를 활용하였다. EOS는 범 지구적 환경모니터링을 위한 사업으로 EOS Data Gateway는 EOS 프로그램을 통해 수집한 위성영상 자료의 DB를 구축하고 대기보정 및 Geolocation 등 Level 처리를 거쳐 제작한 Landcover, LAI, LST(Land Surface Temperature), NDVI 등의 다양한 product를 제공하고 있다. 이와 같이 product 형태로 제공되는 MODIS NDVI는 농업, 수자원, 해양, 대기, 환경 등 다양한 분야에서 활용되고 있는 NDVI의 범용성을 고려할 때 자료의 수집 및 변환, 생성에 소요되는 시간을 단축하고 영상처리에 대한 경험이 부족한 사용자의 활용을 극대화 할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

MODIS NDVI Product는 250m, 500m, 1 Km 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 연구에서는 1Km 해상도의 월별 식생지수를 수집하여 공간해상도 및 자료주기가

<표 1> MODIS NDVI Product 자료명세서

속성	MODIS NDVI
파일명	Vegetation Indices Monthly L3 Global 1 Km
공간해상도	1000 m
복사해상도	16 bit
데이터 포맷	HDF-EOS
공급주기	1 month
투영법	원통투영법

동일한 가뭄지수와의 비교에 활용하였다. 연구에 사용된 MODIS NDVI 자료의 특징은 <표 1>과 같다.

2.3 가뭄지수

가뭄 상황을 평가하고 공간적인 가뭄의 분포를 파악하기 위해서는 현 상태의 가뭄 상태를 정량화하여 나타낼 수 있는 지표가 요구되며 가뭄평가를 위한 척도로 일반적으로 사용하는 방법은 가뭄지수를 이용하는 것이다. 이중 대표적으로 활용되고 있는 가뭄지수는 정상강우백분율(Percent of Normal Precipitation), 표준강수지수(SPI), 파머가뭄심도지수(PDSI), 지표수 공급지수(SWSI: Surface Water Supply Index) 등이며 최근 SWSI를 국내실정에 맞게 수정하여 개발한 수문학적 가뭄지수인 MSWSI(Modified SWSI)(권형중, 2005)가 개발되어 활용되고 있다. 본 연구에서는 가뭄모니터링을 위한 식생지수의 활용성을 검증하기 위한 목적으로 가뭄지수를 활용하였으며 식생지수 기반의 가뭄모니터링에서 가정하고 있는 기상학적 요인에 의한 식생활력의 변화라는 측면을 고려하여 기상학적 가뭄지수만을 비교대상으로 하였다. 본 연구에서는 국내에서 활용되고 있는

기상학적 가뭄지수 중 PDSI와 SPI를 비교 대상으로 선정하였다.

PDSI(Palmer, 1965)는 가뭄심도를 수분부족량과 수분부족기간의 함수로 나타내고 수분수지 모형을 이용하여 산정하며 강수량과 기온 자료를 이용하여 기상 관측소별로 계산된다. SPI(Mckee et al., 1993)는 특정한 시간에 대한 계산 시간단위를 1, 3, 6, 9, 12개월 등으로 설정하고, 시간단위별로 강수 부족량을 지수화하여 산정하는 방법이다. SPI는 이동 누가에 의하여 시간단위별 누가 강수 시계열을 작성하고 적정 확률분포형을 도입하여 표준정규 분포에 적용하는 방법으로 현재의 가뭄뿐 아니라 가뭄이 끝나는데 필요한 강수의 확률 결정 또한 가능함을 제시하였다(김보경 등, 2006). 남한지역의 가뭄 모니터링 시스템을 구축하기 위한 사전연구에서는 SPI 3개월과 6개월, PDSI가 국내 가뭄현상을 잘 재현하는 것으로 제시하고 있으며(이주현 등, 2006), 2001년 봄 가뭄의 경우 단기간의 체감 가뭄특성을 파악할 수 있는 SPI가 PDSI보다 적절하게 활용될 수 있음을 제시하기도 하였다(이동률과 김웅태,

<표 2> PDSI에 따른 가뭄의 분류

PDSI	분류
4.00 이상	극한습윤 (Extremely wet)
3.00 ~ 4.00	심한습윤 (Very wet)
2.00 ~ 3.00	보통습윤 (Moderately wet)
1.00 ~ 2.00	약한습윤 (Slightly wet)
-1.00 ~ 1.00	정상상태 (Normal)
-2.00 ~ -1.00	약한가뭄 (Mild drought)
-3.00 ~ -2.00	보통가뭄 (Moderate drought)
-4.00 ~ -3.00	심한가뭄 (Severe drought)
-4.00 이상	극한가뭄 (Extreme drought)

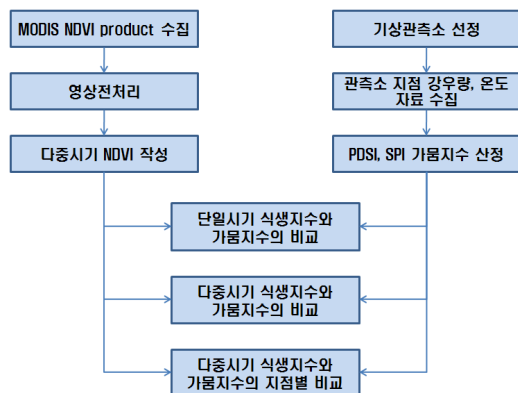
<표 3> SPI에 의한 가뭄의 분류

SPI	분류
2.00 이상	극한습윤 (Extremely wet)
1.50 ~ 2.00	심한습윤 (Very wet)
1.00 ~ 1.50	보통습윤 (Moderately wet)
-1.00 ~ 1.00	정상상태 (Normal)
-1.50 ~ -1.00	보통가뭄 (Moderate drought)
-2.00 ~ -1.50	심한가뭄 (Severe drought)
-2 이하	극한가뭄 (Extreme drought)

2001). PDSI 및 SPI의 값에 따른 가뭄의 분류 기준은 <표 2>, <표 3>과 같다.

3. 연구 방법 및 자료구축

본 연구를 위하여 2000년부터 2007년 기간의 MODIS NDVI 1Km product를 활용하였으며 대상시점은 2000년 이후 봄 가뭄이 가장 빈번하게 발생하고 있는(박정술 등, 2008) 4월을 선정하였다. 지점별 가뭄지수 계산을 위하여 장기간의 강우자료가 구축되어 있는 전국 53개 기상관측소 지점을 대상으로 SPI와 PDSI를 산정하였다.



[그림 1] 연구 흐름도

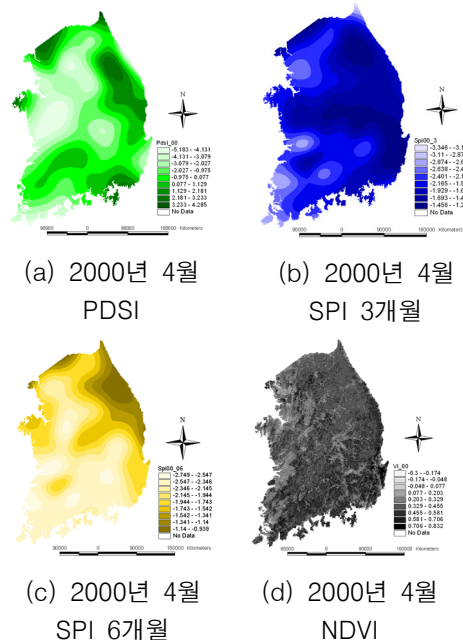
본 연구에서는 그림 1과 같이 단일시기와 다중시기를 대상으로 NDVI와 가뭄지수의 상관성을 분석하였으며 전국 53개 관측지점을 대상으로 지점별 상관분석을 실시하였다.

4. NDVI와 가뭄지수의 상관분석

4.1 단일시기 식생지수와 가뭄지수 맵의 상관성 분석

단일시기 식생지수와 가뭄지수의 상관성을 분석하기 위해 2000년~2007년 4월의 NDVI와 동일 시점의 PDSI, SPI 1개월, 3개월, 6개월 맵을 제작하였으며 ArcView GRID analyst를 이용하여 각각의 GRID 자료의 상관성을 분석하였다.

시기별 상관계수는 표 4와 같으며 동일 시



[그림 2] 2000년 4월의 가뭄지수와 NDVI

기의 식생지수와 가뭄지수의 픽셀별 상관성은 발견할 수 없었다. 이는 NDVI가 특정 시점의 식생활력을 나타내는 자료임에 비해 PDSI, SPI의 경우에는 과거 자료와의 비교를 통해 특정 시점의 가뭄심도를 제시하는 값이기 때문이다.

<표 4> 연도별 NDVI와 가뭄지수 맵의 상관계수

4월	NDVI & PDSI	NDVI & SPI 3개월	NDVI & SPI 6개월	NDVI & SPI 1개월
2000	-0.08	0.14	-0.1	-0.05
2001	0.03	-0.1	-0.07	-0.00
2002	0.11	-0.05	0.08	-0.09
2003	-0.07	-0.13	-0.14	-0.13
2004	0.07	0.06	0.13	0.14
2005	-0.01	-0.05	-0.03	-0.08
2006	-0.08	-0.00	0.08	-0.03
2007	0.10	0.02	-0.01	0.07

4.2 다중시기 식생지수와 가뭄지수 맵의 상관성 분석

본 연구에서는 다중시기의 식생지수와 가뭄지수의 상관성 분석을 통하여 가뭄심도의 변화를 식생지수가 효과적으로 반영하는가를 분석하였다. 표 5와 같이 2000년~2007년 4월을 대상으로 다중시기 NDVI와 가뭄지수의 픽셀별 변화를 비교하였으며 이에 대한 상관계수를 산정하고 공간분포화 하여 상관계수 맵을 작성하였다. 그림 3과 같이 픽셀별 변화에 대한 상관계수 맵을 비교한 결과 NDVI의 변화와 PDSI의 변화는 상관성이 매우 작게 나타났다. SPI 3개월, 6개월의 경우 NDVI와의 평균상관계수는 크지 않았으나 지역적으로 높은 상관성을 갖는 지역이 다수 분포하였다. 가뭄지수의 경우 관측소 지점을 제외한 나머지 픽셀은 공간적으로 보

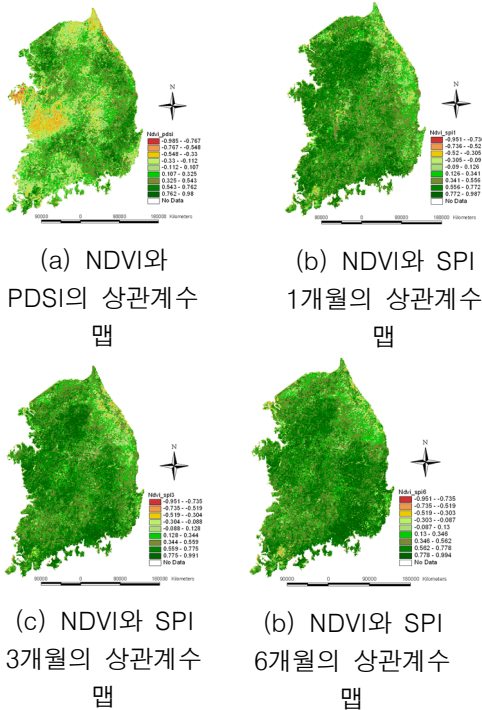
<표 5> 다중시기 식생지수와 가뭄지수의 상관분석의 예 (NDVI와 SPI 6개월)

NDVI								SPI 6 month								R
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
0.30	0.41	0.45	0.46	0.44	0.47	0.40	0.45	-2.59	-0.58	-0.31	0.88	-0.30	-0.12	-1.54	0.01	0.93
0.25	0.29	0.37	0.37	0.35	0.38	0.32	0.39	-2.59	-0.60	-0.29	0.88	-0.29	-0.10	-1.54	-0.01	0.85
0.26	0.36	0.41	0.46	0.45	0.48	0.40	0.50	-2.59	-0.61	-0.28	0.89	-0.28	-0.09	-1.55	-0.04	0.84
0.31	0.39	0.44	0.44	0.42	0.47	0.41	0.45	-2.59	-0.62	-0.26	0.89	-0.28	-0.07	-1.55	-0.06	0.84
0.43	0.47	0.50	0.52	0.50	0.56	0.45	0.51	-2.59	-0.63	-0.24	0.90	-0.27	-0.05	-1.55	-0.08	0.93
0.55	0.60	0.62	0.62	0.61	0.61	0.57	0.60	-2.59	-0.64	-0.23	0.90	-0.26	-0.04	-1.55	-0.11	0.94
0.58	0.60	0.61	0.65	0.60	0.62	0.58	0.62	-2.59	-0.65	-0.21	0.91	-0.26	-0.02	-1.55	-0.13	0.93
0.59	0.61	0.64	0.65	0.64	0.64	0.59	0.60	-2.59	-0.66	-0.19	0.91	-0.25	0.00	-1.55	-0.15	0.77
0.44	0.47	0.51	0.51	0.53	0.48	0.47	0.48	-2.58	-0.67	-0.18	0.92	-0.24	0.02	-1.54	-0.18	0.75
0.41	0.44	0.51	0.48	0.51	0.44	0.45	0.45	-2.58	-0.68	-0.16	0.92	-0.24	0.04	-1.57	-0.20	0.62
0.49	0.53	0.58	0.63	0.61	0.61	0.52	0.53	-2.58	-0.69	-0.15	0.92	-0.23	0.06	-1.59	-0.22	0.86
0.60	0.64	0.66	0.73	0.67	0.68	0.63	0.63	-2.57	-0.69	-0.13	0.93	-0.22	0.08	-1.52	-0.23	0.88
.
.
.
.

간된 값이고 두 지수간의 비교시 남한 전체를 대상으로 하였으므로 평균 상관계수는 크지 않았으나 이와 같은 비교를 통해 NDVI는 6개월 이상 지속되는 가뭄과 가장 높은 상관성을 갖고 있음을 확인하였다. 표 6은 그림 3과 같이 계산된 상관계수 맵의 평균 값을 나타낸 것이다.

<표 6> 다중시기 식생지수와 가뭄지수를 이용한 상관계수 맵의 평균

2000~2007	NDVI & PDSI	NDVI & SPI 1개월	NDVI & SPI 3개월	NDVI & SPI 6개월
상관 계수 맵 평균	0.19	0.47	0.50	0.52



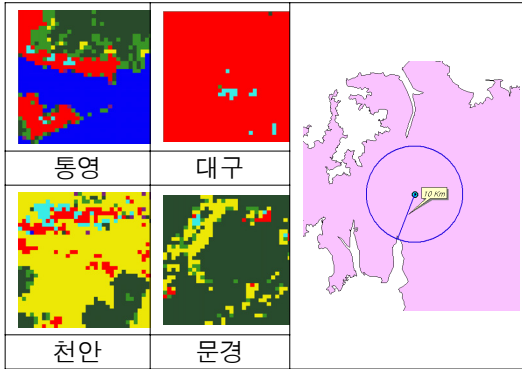
[그림 3] 다중시기 식생지수와 가뭄지수의 상관계수 맵

4.3 다중시기 식생지수와 가뭄지수의 지점별 비교

그림 3을 통해 제시한 상관관계 맵의 경우 관측소 지점을 기준으로 보간된 가뭄지수와 셀 단위로 계산되는 NDVI의 비교 결과이므로 다수의 불확실성을 포함하고 있다. 본 연구에서는 NDVI와 가뭄지수의 보다 정량적인 비교를 위해 30년 이상의 강우관측 결과를 제공하는 기상관측소 53개 지점을 선택하여 셀 단위의 분석을 실시하였다. 53개 기상관측소 지점은 지리적 위치와 토지피복 비율에 따라 구분되었으며 각각의 관측소 픽셀에 대하여 상관식을 작성하고 회귀식의 적합도를 나타내는 결정계수를 계산하였다. 또한, SPI와 정상강우백분율을 1개월 단위로 제작하여 식생지수가 반영하는 물 부족 기간을 보다 정확하게 파악하고자 하였다.

NDVI는 식생활력을 나타내는 지표로 동일한 기후조건이라도 토지피복 상태에 따라 지역적으로 값의 차이가 발생한다. 본 연구에서는 식생지수와 가뭄지수의 지점별 비교시 관측소 셀을 구성하는 토지피복 상태를 고려하여 각 지점의 토지피복 비율을 계산하고 식생피복과 비 식생피복을 분류하였다.

그림 4와 같이 환경부 대분류 토지피복도를 이용하여 전국 53개 관측소가 위치한 격자를 선정하여 추출하였으며 7개 분류항목 중 산림, 농경지, 초지 항목을 식생피복으로 시가화 건조지역, 도시지역, 수역, 습지, 나대지 등을 비 식생피복으로 정의하고 각 픽셀별 피복 비율을 표 7과 같이 산정하였다. 토지피복도는 관측소가 포함된 1 Km 해상도의 NDVI 격자를 aoi로 선정한 후 이를 이용하여 추출하였다.



[그림 4] 관측소 주변의 토지피복 현황(예)와 해안지점의 구분

본 연구에서는 식생지수가 토지피복과 더불어 지리적 위치에도 큰 영향이 있음을 고려하여 해양성 기후의 영향을 받는 지점을 선택하였다. 해수와 인접한 지역의 경우 해수의 증발산에 영향을 받게 되며 이는 대기 중의 수분상태 및 가뭄과 직접적인 관련을 갖게 된다. 본 연구에서는 53개 기상관측소 중 해안선으로부터 반경 10km 내에 위치한 21개 지점을 해안지역으로 구분하였다. 토지피복과 해양성 기후를 종합적으로 고려하여 53개 지점을 식생피복과 내륙지점(20개소), 식생피복과 해안지역(12개소), 비 식생피복과 내륙지역(12개소), 비 식생피복과 해안지역(9개소) 등으로 구분하였다.

NDVI와 PDSI, SPI의 상관식을 통해 계산된 결정계수를 비교한 결과 토지피복 및 관측소의 지리적 위치에 따라 식생지수와 가뭄지수의 상관성이 크게 달라짐을 확인할 수 있었다. 관측소 분류기준에 따라 비교한 결과 식생피복-내륙지역 > 식생피복-해안지역 > 비 식생피복-내륙지역 > 비 식생피복-해안지역 순으로 상관성을 갖는 것으로 나타났다.

가뭄지속기간에 따른 비교에서는 지속기간 3개월~6개월의 SPI 및 정상강우백분율과 높은 상관성을 나타낸 반면 PDSI는 식생지수의 변화를 적절하게 반영하지 못하는 것으로 나타났다. 각 클래스별로 결정계수 0.6 이상의 상관성을 갖는 지점을 선정한 결과 식생피복-내륙지역의 경우 95%이상이 식생피복-해안지역은 58%, 비식생지역-내륙지역은 50%, 비식생 피복-해안지역은 44% 이상으로 나타났다.

표 8~표 11은 각 분류기준에 의한 상관분석 결과를 토대로 상위 9개 지점의 NDVI와 가뭄지수의 결정계수를 제시한 표로 음영부분은 각 관측소의 상관분석 결과 중 가장 높은 결정계수를 나타내고 있다. 대체로 지속기간 6개월의 SPI가 가장 높은 상관성을 갖는 것을 확인할 수 있으며 식생피복을 갖는 내륙지역의 관측소에서 식생지수와 가뭄지수의 상관성이 매우 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

2001년 전국적인 봄 가뭄을 계기로 가뭄관리의 필요성이 대두되었으며 한반도의 가뭄모니터링 시스템을 구축하기 위한 가뭄지수의 적용 및 새로운 가뭄평가 지표의 개발이 수행되고 있다. 본 연구에서는 위성영상의 밴드조합을 통해 제작된 정규식생지수(NDVI)를 대표적인 가뭄지수인 PDSI 및 SPI와 비교하였으며 이들 자료들간의 상관성을 통해 가뭄모니터링을 위한 위성영상 자료의 활용성을 제시하고자 하였다. 정규식생지수는 Terra 위성의 MODIS NDVI를 이용하였으

<표 7> 관측소별 토지피복 비율 및 내륙지역 선택

No.	관측소	water	urban	bare Soil	wetland	grass	forest	paddy	non-Vegetati on	Vegetati on	inland
90	속 초	0.3%	13.8%	11.9%	0.0%	0.1%	49.2%	24.6%	26.1%	73.9%	
95	철 원	0.0%	27.2%	13.4%	0.0%	1.2%	1.6%	56.7%	40.6%	59.4%	○
100	대관령	0.0%	0.5%	9.1%	0.0%	8.9%	71.8%	9.7%	9.6%	90.4%	
101	춘 천	0.0%	25.4%	10.9%	0.0%	0.0%	2.3%	61.3%	36.3%	63.7%	○
105	강 룡	0.0%	85.3%	6.4%	0.0%	1.6%	0.2%	6.6%	91.7%	8.3%	
108	서 울	0.0%	49.9%	6.1%	0.2%	26.1%	17.6%	0.0%	56.1%	43.9%	○
112	인 천	0.9%	86.4%	4.7%	0.1%	5.8%	2.1%	0.0%	92.0%	8.0%	
119	수 원	15.4%	28.8%	14.6%	0.0%	4.0%	9.4%	27.8%	58.8%	41.2%	○
129	서 산	0.0%	1.1%	6.9%	0.0%	5.6%	16.3%	70.0%	8.0%	92.0%	
130	울 진	21.9%	3.9%	7.0%	0.0%	11.5%	45.7%	10.0%	32.8%	67.2%	
131	청 주	0.0%	68.0%	25.0%	0.0%	3.4%	3.7%	0.0%	92.9%	7.1%	○
133	대 전	6.4%	42.4%	18.3%	0.0%	12.9%	19.1%	0.8%	67.1%	32.9%	○
135	추풍령	0.2%	6.8%	1.5%	0.0%	14.5%	26.0%	51.1%	8.5%	91.5%	○
138	포 향	57.9%	26.2%	3.4%	0.8%	10.6%	1.2%	0.0%	87.5%	12.5%	
140	군 산	67.7%	14.2%	4.0%	7.3%	5.2%	1.6%	0.0%	85.9%	14.1%	
143	대 구	0.0%	98.4%	1.4%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	99.8%	0.2%	○
146	전 주	0.0%	92.6%	5.7%	0.0%	1.6%	0.1%	0.0%	98.3%	1.7%	○
152	울 산	0.0%	86.9%	3.6%	0.0%	6.7%	0.0%	2.8%	90.5%	9.5%	
156	광 주	0.0%	78.0%	8.3%	0.0%	4.3%	9.3%	0.0%	86.3%	13.7%	○
159	부 산	11.3%	72.1%	4.4%	0.2%	6.6%	5.5%	0.0%	87.7%	12.3%	
162	통 영	45.3%	17.3%	1.1%	0.5%	12.3%	22.3%	1.3%	63.7%	36.3%	
165	목 포	0.0%	34.6%	16.9%	1.2%	7.6%	21.5%	18.2%	51.5%	48.5%	
168	여 수	17.0%	63.8%	9.4%	0.0%	1.6%	4.6%	3.5%	90.3%	9.7%	
192	진 주	0.0%	20.5%	7.1%	0.0%	10.6%	5.6%	56.2%	27.6%	72.4%	○
201	강 화	0.0%	8.4%	7.6%	0.0%	8.2%	14.0%	61.7%	16.1%	83.9%	
202	양 평	4.1%	42.6%	7.8%	0.0%	0.3%	1.9%	43.3%	54.5%	45.5%	○
203	이 천	0.0%	2.9%	7.4%	0.0%	9.4%	19.5%	60.8%	10.3%	89.7%	○
211	인 제	2.8%	6.9%	8.7%	0.0%	21.4%	11.2%	49.1%	18.3%	81.7%	○
212	홍 천	1.4%	54.7%	8.2%	0.0%	0.5%	6.9%	28.3%	64.3%	35.7%	○
221	제 천	0.0%	0.3%	3.5%	0.0%	17.5%	19.9%	58.8%	3.8%	96.2%	○
226	보 은	0.0%	5.7%	5.7%	0.0%	12.1%	33.3%	43.2%	11.4%	88.6%	○
232	천 안	0.1%	9.7%	4.0%	0.8%	2.6%	15.5%	67.4%	13.8%	86.2%	○
235	보 령	0.0%	11.0%	7.6%	0.0%	11.6%	12.5%	57.3%	18.6%	81.4%	
236	부 여	0.0%	25.1%	12.1%	0.0%	4.4%	29.2%	29.2%	37.2%	62.8%	○
243	부 안	0.0%	21.4%	9.6%	0.0%	5.7%	16.8%	46.5%	31.0%	69.0%	
244	임 실	0.2%	26.8%	11.0%	0.0%	15.0%	20.3%	26.6%	38.0%	62.0%	○
245	정 읍	0.0%	74.9%	5.4%	0.1%	11.3%	6.7%	1.7%	80.2%	19.8%	○
247	남 원	0.0%	2.4%	0.0%	0.0%	18.1%	44.9%	34.6%	2.4%	97.6%	○
256	순 천	14.4%	17.9%	5.0%	0.0%	5.9%	18.9%	37.8%	37.4%	62.6%	○
260	장 흥	0.0%	5.9%	0.4%	0.0%	1.2%	10.5%	82.0%	6.3%	93.7%	
261	해 남	0.0%	4.1%	0.4%	0.2%	0.8%	1.3%	93.2%	4.5%	95.5%	
272	영 주	0.0%	23.6%	9.0%	0.0%	18.9%	1.3%	47.2%	32.6%	67.4%	○
273	문 경	0.0%	1.5%	0.6%	0.0%	4.3%	79.4%	14.2%	2.1%	97.9%	○
277	영 덕	0.0%	6.1%	2.3%	0.0%	16.3%	47.7%	27.7%	8.4%	91.6%	
278	의 성	0.1%	28.1%	1.6%	0.0%	2.8%	42.2%	25.2%	29.8%	70.2%	○
279	구 미	0.1%	17.9%	5.9%	0.0%	13.1%	18.6%	44.4%	23.9%	76.1%	○
281	영 천	0.0%	27.6%	7.7%	0.0%	4.9%	9.4%	50.3%	35.3%	64.7%	○
284	거 창	0.0%	0.2%	0.6%	0.0%	31.8%	32.4%	35.1%	0.8%	99.2%	○
285	합 천	0.0%	21.7%	17.0%	0.0%	3.0%	10.6%	47.6%	38.8%	61.2%	○
288	밀 양	10.0%	39.7%	7.6%	0.9%	0.7%	0.4%	40.8%	57.2%	42.8%	
289	산 청	5.3%	39.4%	6.5%	0.0%	10.4%	28.4%	10.0%	51.2%	48.8%	
294	거 제	0.0%	9.8%	3.5%	0.0%	19.4%	66.6%	0.8%	13.2%	86.8%	
295	남 해	1.4%	6.5%	5.7%	0.1%	1.4%	29.0%	56.0%	13.6%	86.4%	

<표 8> 식생피복-내륙지역의 NDVI와 SPI의 결정계수 비교

식생피복 - 내륙지역		PDSI	SPI 1	SPI 2	SPI 3	SPI 4	SPI 5	SPI 6
구미	NDVI	0.13	0.49	0.70	0.83	0.75	0.80	0.85
춘천	NDVI	0.46	0.57	0.57	0.75	0.75	0.68	0.87
합천	NDVI	0.32	0.58	0.84	0.61	0.59	0.66	0.45
제천	NDVI	0.24	0.63	0.76	0.58	0.51	0.58	0.49
문경	NDVI	0.01	0.59	0.60	0.75	0.79	0.75	0.82
영주	NDVI	0	0.29	0.37	0.62	0.49	0.60	0.74
제천	NDVI	0.01	0.43	0.49	0.71	0.70	0.80	0.68
추풍령	NDVI	0.2	0.55	0.66	0.83	0.67	0.71	0.80
순천	NDVI	0.03	0.56	0.58	0.64	0.48	0.47	0.41

<표 9> 식생피복-해안지역의 NDVI와 SPI의 결정계수 비교

식생피복 - 해안지역		PDSI	SPI 1	SPI 2	SPI 3	SPI 4	SPI 5	SPI 6
서산	NDVI	0.15	0.46	0.53	0.65	0.55	0.46	0.76
울진	NDVI	0.69	0.38	0.42	0.38	0.14	0.16	0.89
거제	NDVI	0.3	0.31	0.29	0.50	0.61	0.65	0.77
보령	NDVI	0.02	0.32	0.45	0.55	0.25	0.22	0.35
해남	NDVI	0.14	0.53	0.57	0.69	0.70	0.60	0.62
강화	NDVI	0.06	0.60	0.62	0.55	0.55	0.53	0.29
장흥	NDVI	0.19	0.35	0.31	0.48	0.40	0.38	0.51
남해	NDVI	0.03	0.33	0.32	0.42	0.46	0.45	0.49
영덕	NDVI	0.01	0.22	0.12	0.03	0.11	0.12	0.48

<표 10> 비 식생피복-내륙지역의 NDVI와 SPI의 결정계수 비교

비 식생피복 - 내륙지역		PDSI	SPI 1	SPI 2	SPI 3	SPI 4	SPI 5	SPI 6
양평	NDVI	0.04	0.51	0.54	0.70	0.61	0.59	0.71
정읍	NDVI	0	0.55	0.57	0.43	0.55	0.55	0.45
밀양	NDVI	0.09	0.62	0.53	0.69	0.72	0.70	0.72
서울	NDVI	0.08	0.52	0.53	0.47	0.55	0.40	0.28
수원	NDVI	0.09	0.62	0.52	0.55	0.46	0.37	0.51
대구	NDVI	0	0.22	0.19	0.34	0.29	0.31	0.43
광주	NDVI	0.07	0.20	0.22	0.16	0.21	0.22	0.15
홍천	NDVI	0.21	0.18	0.13	0.24	0.21	0.14	0.30
산청	NDVI	0.18	0.13	0.31	0.26	0.42	0.52	0.44

<표 11> 비 식생피복-해안지역의 NDVI와 SPI의 결정계수 비교

비 식생피복 - 해안지역		PDSI	SPI 1	SPI 2	SPI 3	SPI 4	SPI 5	SPI 6
울산	NDVI	0	0.14	0.17	0.49	0.55	0.52	0.87
여수	NDVI	0.01	0.50	0.55	0.78	0.76	0.78	0.81
목포	NDVI	0.18	0.40	0.42	0.46	0.55	0.45	0.39
통영	NDVI	0.24	0.13	0.13	0.15	0.14	0.15	0.10
포항	NDVI	0	0.24	0.09	0.11	0.00	0.00	0.38
인천	NDVI	0.01	0.28	0.41	0.45	0.45	0.42	0.21
부산	NDVI	0.23	0.16	0.12	0.19	0.10	0.08	0.12
강릉	NDVI	0.04	0.24	0.14	0.05	0.02	0.04	0.17
군산	NDVI	0.06	0.19	0.17	0.05	0.00	0.00	0.01

며 월 단위로 합성된 NDVI와 월 간격으로 산정된 PDSI 및 SPI의 상관성을 공간분포 맵과 53개 기상관측소 지점을 통해 비교하였다. 2000년~2007년 4월을 대상으로 한 연구결과 NDVI는 물 부족에 의한 SPI의 변화를 효과적으로 반영하는 것으로 나타났으며 SPI-6개월과 가장 높은 상관성을 보였다. 또한, 식생지수에 영향을 주는 토지피복 및 해수의 영향을 고려한 분석 결과 식생피복을 갖는 내륙지역의 관측소에서 NDVI와 가뭄지수의 상관성이 가장 높게 나타났다. 본 연구에서는 가뭄평가를 위해 가장 광범위하게 활용되고 있는 가뭄지수와 비교를 통해 식생지수를 이용한 가뭄분석의 객관성을 확보하고자 하였다. 본 연구를 통해 NDVI와 가뭄지수의 상관성을 부분적으로 제시할 수 있었으며 향후 연도별 가뭄시기 및 가뭄지역을 대상으로 NDVI와 가뭄지수를 비교한다면 가뭄모니터링을 위한 NDVI의 활용성을 효과적으로 파악할 수 있을 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 기초기술연구회의 위성정보 활용 지원 운영사업과 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업 과제의 연구비지원(과제번호 07국토정보 C03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

김보경, 김상단, 이재수, 김형수, 2006. 가뭄의 시공간적 분포 특성 연구: 가뭄심도-가뭄면적-

가뭄지속기간 곡선의 작성, 대한토목학회논문집, 제26권 제1B호, pp.69-78.

권형중, 2006. SWSI 기반의 준분포형 수문학적 가뭄평가기법 개발, 건국대학교 대학원 박사학위논문.

박은주, 황철수, 성정창, 2002. 위성영상의 토양수분 정보와 공간적 요인을 고려한 가뭄 민감도 분석, 2002. 한국GIS학회지, 제10권 제3호, pp. 481-492.

박정술, 김경탁, 2008. 봄 가뭄 평가를 위한 다중시기 VCI와 SVI의 적용성 분석, 대한원격탐사학회 춘계학술발표 논문집, pp.119-124.

박정술, 김경탁, 이진희, 이규성, 2006. 봄 가뭄 평가를 위한 다중시기 MODIS 영상의 적용성 분석, 한국지리정보학회 논문집, 제9권 제4호 pp.176-192.

신사철, 김철준, 2003. 우리나라에서의 가뭄 발생 지역 판별을 위한 식생지수(NDVI)의 적용성에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, 제36권 제5호, pp.839-849.

신사철, 정수, 김경탁, 김주훈, 박정술, 2006. NDVI를 이용한 가뭄지역 검출 및 부족수량 산정, 한국지리정보학회 논문집, 제9권 제2호, pp.102-114.

신수현, 2005. 다중시기 정규식생지수를 이용한 가뭄지수의 한반도 적용성 분석, 인하대학교 대학원 석사학위논문.

이동률, 김웅태, 2001. 2001년 봄 가뭄의 심도, 한국수자원학회지, 제34권 제4호, pp. 68-73.

이주현, 정상만, 김성준, 이명호, 2006. 가뭄모니터링 시스템 구축: I. 정량적 가뭄모니터링을 위한 가뭄지수의 적용성 분석, 한국수자원학회 논문집, 제39권 제9호, pp.787-800.

Gutman, G. G., 1990. Towards Monitoring Droughts from Space, Journal of Climate, 3: 282-295.

Huete, A.R., Justice, C., Wim van Leeuwen, 1999; MODIS Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document Version 3.

Ji L., Peters A.J..2003. Assessing vegetaiaion

- response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices, *Remote Sensing of Environment*. 87: 85-98.
- Kogan, F. N., 1995. "Application of Vegetation Index and Brightness Temperature for Drought Detection", *Adv. in Space Res.*, 15:91-100.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale, *Proceeding of the Eighth conference on applied climatology*. 179-184.
- Palmer, W.C., 1965. *Meteorological drought*. Research Paper, vol. 45. U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, DC.
- Peters, A.J., Walter-Shea, E.A., Lei, J., Vina, A., Hayes, M., Svoboda, M.R., 2002. Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 65 (1), 71-75.
- Unganai, L. S., Kogan F. N., 1998. Drought monitoring and corn yield estimation in Southern Africa from AVHRR data, *Remote Sensing of Environment*. 63: 219-232.
-
- 접수일 (2009년 2월 18일)
최종수정일 (2009년 4월 22일)
게재확정일 (2009년 4월 23일)