

표준강수지수와 정규식생지수를 활용한 봄 가뭄 탐지 가능성 분석*

김동우** · 박종철*** · 장동호****

Analysis of the Possibility for Drought Detection of Spring Season Using SPI and NDVI*

Dongwoo Kim** · Jongchul Park*** · Dong-Ho Jang****

요약 : 가뭄을 모니터링하고 예측하는 방법으로는 가뭄지수와 위성영상의 식생지수가 활용되고 있다. 본 연구는 정규격자 강수량 자료와 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 영상자료를 활용하여 표준강수지수와 정규식생지수의 상관관계를 분석을 통해 봄 가뭄 탐지 가능성을 분석하였다. 연구지역은 남한 전체이며 3월과 5월에 식생이 민감하게 반응하는 가뭄 유형을 지역별로 제시하였다. 연구 결과, 두 지수의 상관관계는 시기별, 지역별로 연관성이 다르게 나타났다. 3월 한라산과 지리산 산간지대의 식생은 모든 가뭄 유형에 민감하였고, 5월 호남지방의 농경지는 단기가뭄, 중부지방의 산지지역은 중기가뭄에 민감한 것으로 분석되었다. 이를 통해 두 지수의 상관관계 분석은 봄 가뭄에 민감한 지역을 파악하는데 유용한 것으로 판단되었다. 본 연구의 결과는 향후 NDVI와 SPI의 상관관계를 분석하여 봄 가뭄을 예측하는 연구에 활용될 것으로 기대된다.

주요어 : 표준강수지수, 정규식생지수, 가뭄유형, 가뭄, 위성영상

Abstract : As a method of monitoring and predicting droughts, the drought index and the normalized difference vegetation index (NDVI) of satellite images are being used. This study analyzed the possibility of detecting droughts through an analysis of the correlation between the standard precipitation index (SPI) and the NDVI using the regular spaced grid precipitation data and MODIS images data. The study was conducted on the entire region of South Korea and the types of droughts where vegetation sensitively responds during March and May were proposed in each region. As a result of study, it was displayed different correlations of the two indexes by season and region. The vegetation in the mountainous regions of Mt. Halla and Mt. Jiri was sensitive to all types of droughts in March, and the farming region of Honam was sensitive to short-term droughts and the mountainous regions of the central region were sensitive to mid-term droughts. Through which, it was indicated that the analysis of the correlation of the two indexes is useful in ascertaining the regions sensitive to spring droughts. The result of this study is expected for use in studies that predict spring droughts by analyzing the future correlation of NDVI and SPI.

Key Words : SPI, NDVI, Drought type, Drought, Satellite image

*이 논문은 2016년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016S1A3A2924243).

**공주대학교 지리학과 석사과정(Master student, Department of Geography, Kongju National University, acuarion@kongju.ac.kr)

***한국환경정책·평가연구원 미래환경연구본부 기후융합연구실 초빙연구원(Invited Research Fellow/Ph.D., Division of Climate Change and Interdisciplinary, Future Environmental Strategy Research Group, Korea Environment Institute, jcpark@kei.re.kr)

****공주대학교 지리학과 교수(Professor, Department of Geography, Kongju National University, gisrs@kongju.ac.kr)

I. 서론

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 5차 평가보고서(2014)에서 지난 133년간(1880-2012년) 지구 평균기온이 0.85°C 상승하였으며, 폭염과 가뭄 같은 극한 기후현상들이 생태계에 혼란을 가져올 것으로 예측하고 있다. 한반도는 지난 30년간(1981-2010) 연평균 기온이 1.2°C 상승하였고, 다른 지역보다 기후변화가 빠르게 진행되고 있어 산림 생태계에 교란이 발생할 가능성이 크다(성노훈 등, 2015). 따라서 미래 발생할 수 있는 극한 기후현상에 대비한 한반도 산림 생태계의 기후변화 적응 및 회복 능력을 높이기 위해서는 현재의 산림 생태계가 갖고 있는 기후 민감도를 이해할 필요가 있다.

최근 한반도에서는 매년 봄철 가뭄이 빈번하게 발생하고 있다. 특히 2001년 전국적인 봄 가뭄을 계기로 가뭄에 대한 평가 및 관리를 위한 다양한 대책들이 논의되었다(박정술, 2006). 하지만 가뭄은 지역 및 시간에 따라 피해 양상이 전혀 다르게 나타날 수 있어서 종합적인 가뭄관리가 필요하다. 즉, 주기적으로 발생하는 가뭄을 평가하고 효율적으로 관리하기 위해서는 가뭄 상황을 시간적으로 분석하고, 공간적으로 가뭄지역을 탐지하는 시·공간적 분석이 필요하다. 이러한 시·공간적 가뭄변화를 모니터링하기 위해서는 가뭄의 상태를 파악하기 위한 가뭄지수와 같은 지표가 필요하며, 식생지수는 가뭄의 정도에 따라 식생의 활력도가 변화가 일어나기 때문에 가뭄을 판단하는 중요한 지표가 될 수 있다.

가뭄과 식생과의 관계는 주로 가뭄지수와 식생지수의 상관관계를 살펴보는 방법으로 수행되고 있다. 가뭄이란 수문학적으로 물의 균형이 깨지고 물이 부족한 현상을 의미한다. 그러나 가뭄을 모니터링하고 예측하기 위해서는 가뭄의 정도와 지속기간 등을 정량화할 필요가 있고 이에 따라 다양한 가뭄지수들이 개발되었다. 그 중에서도 기상학적 가뭄지수인 표준강수지수(Standard Precipitation Index: SPI)는 사용이 용이하고 국내외에서 실제로 발생된 가뭄현상과의 비교를 통해 활용성도 검증된 방법이다(박종철 등, 2014).

따라서 가뭄과 식생과의 관계에서 SPI를 활용한 국내외의 연구들을 다수 찾아볼 수 있다(신수현, 2005; 김경탁·박정술, 2006; 박정술·김경탁, 2009; 안소라 등, 2014; 백슬기, 2016). 이 연구들은 SPI와 식생활력도의 상관관계를 통해 봄철 가뭄에 대한 식생의 민감도를 이해하고

자 하였다. 공간적인 측면에서 살펴보면, 신수현(2005)은 기상관측 지점별로 가뭄을 분석하였고, 안소라 등(2014)과 백슬기(2016)는 각각 유역단위와 권역별로 생산된 SPI를 사용해 식생활력도와의 상관관계를 분석을 하였다. 박정술·김경탁(2009)은 스피라인기법으로 보간된 2000~2007년의 4월의 강수량 자료를 해안지역과 내륙지역으로 분류하여 SPI를 생산하였고, 지역별로 토지피복도를 중첩시켜 토지피복별 SPI와 다중시기 식생활력도와의 상관계수를 계산하였다.

기존연구들에서 식생활력도는 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)를 이용하여 정량화하였다. NDVI는 위성영상 자료로부터 획득할 수 있기 때문에 광범위한 지역의 식생활력 변화를 모니터링하기 위한 매우 효과적인 방법이다(Kogan, 1997; 김성훈·장동호, 2014; 김재엽·장동호, 2015). 기존의 연구를 통해 NDVI가 SPI에 상관관계가 있으며, 그 관계의 정도는 식생피복 상태와 SPI의 시간척도 등에 따라 다르다는 것이 밝혀졌다.

하지만 지금까지 대부분의 연구는 SPI 산정을 위한 강수 자료를 지점 관측 자료를 사용하고 있어, 지역에 따른 실제 강수의 공간적 차이를 고려하는데 한계가 있었으며 이는 강수 발생 지점과 지점과의 불일치라는 문제를 내재하고 있다. 예를 들어 강수가 상대적으로 많이 발생하는 산지의 식생활력도 변화를 저지대의 강수 관측 자료를 기반으로 평가하는 한계가 있었다. 최근 지점 관측 자료를 통계적 또는 지리적 지식 기반으로 내삽하여 강수분포도를 작성한 연구들이 활발히 진행되었다. 특히 오랜 기간 강수 내삽을 위해 활용되었던 역거리가중치법과 공동크리깅에 비해 지형성 강우의 재현에 유리한 Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model이 제안된 바 있다(Daly *et al.*, 2002; 김맹기 등, 2012; 박종철·김만규, 2016). 한국에서 역시 MK-PRISM(김맹기 등, 2012), PRISM-KNU(박종철·김만규, 2016) 등이 모델을 기반으로 한 기후 자료 산출 연구들이 있었다. 아울러 NASA에서는 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) NDVI를 제공하고 있어 이전 연구들에 더욱 지역적인 규모에서 SPI와 NDVI의 관계를 분석할 수 있는 연구 여건이 마련되어 있다. 따라서 이 자료들을 활용하여 비교 연구를 수행하면 더욱 지역적인 규모에서 가뭄과 식생의 관계에 대한 다양한 정보를 획득할 수 있을 것으로 기대된다.

한편 박정술·김경택(2009)는 내륙지역에서 시간척도 6개월의 SPI 지수가 식생활력의 상태를 설명하는데 가장 유용하다고 제안한다. 그러나 단일 지수만으로 매우 다양한 지역 뿐 아니라 여러 유형의 식생에 대한 활력도를 모니터링하기에는 한계가 있다. SPI는 단기, 중기, 장기 가뭄으로 구분하여 분석되고 활용되는데 이 중 NDVI 변화를 모니터링하기에 가장 적합한 유형을 한 가지 선정하는 것은 모니터링의 효율성 측면에서는 타당한 것처럼 보인다. 그러나 시·공간적으로 적절한 가뭄 대책을 수립하기 위해서는 식생활력의 변화를 가장 잘 설명할 수 있는 가뭄의 유형을 시·공간적으로 이해할 필요성도 있다.

이에 본 연구에서는 PRISM 기반으로 산출된 정규격자 강수량 분포도와 MODIS NDVI를 활용하여 1×1km 정규격자 단위에서 두 지수의 변동계수 분포 결과를 바탕으로 봄 가뭄 탐지 가능성을 분석하였다. 또한 두 지수의 상관관계에 따라 유형을 분류하여 단기, 중기, 장기 가뭄 중 봄철 NDVI의 변화를 가장 잘 설명할 수 있는 가뭄 유형은 무엇인지를 지역별로 제시하고자 하였다.

II. 연구자료 및 방법

본 연구의 대상지역은 남한의 내륙전체와 제주도 및 도서지역이다. 분석 대상 기간은 2003년~2014년(12년) 3월과 5월이다. 3월은 활엽수의 개엽(開葉) 시기 전으로 침엽수림의 식생활력도만 분석 가능하고 5월은 침엽수와 활엽수 그리고 농경지의 식생활력도를 분석 가능할 것으로 기대하여 3월과 5월을 대상으로 분석을 실시하였다.

SPI 계산을 위한 월강수량 분포 자료는 박종철과 김만규(2016)에 의해 생산된, 2000~2014년에 대한 공간해상도 1km의 PRISM-KNU 월 강수량자료를 활용하였다. 이 자료의 Kling and Gupta Efficiency는 전반적으로 0.65~0.85를 나타냈다. 이 수치는 모델의 모의효율을 평가할 때 사용하며 이 값이 위의 범위를 나타냈다는 것은 이 모델을 통해 생산된 자료가 신뢰할 수 있다는 것을 의미한다. SPI는 McKee *et al.*(1993; 1995)이 개발한 대표적인 가뭄지수로 가뭄이 상대적으로 물의 수요에 비해 물의 부족을 유발하는 강수량의 감소에 의해서 시작된다는 것을 착안하여 개발되었다. SPI는 사용자의 설정에 따라 다양한 시간척도에 대해 계산할 수 있기 때문에 다

표 1. SPI에 의한 가뭄 등급

| SPI Range | Moisture Condition |
|---------------|--------------------|
| 2,00 ≤ | Extremely Wet |
| 1,50 ~ 1,99 | Very Wet |
| 1,00 ~ 1,49 | Moderately Wet |
| -0,99 ~ 0,99 | Near Normal |
| -1,00 ~ -1,49 | Moderate Dry |
| -1,50 ~ -1,99 | Severely Dry |
| ≤ -2,00 | Extremely Dry |

출처 : McKee *et al.*, 1993.

른 가뭄지수들 보다 통계적으로 일관성이 있으면서 시기에 따라 장·단기적으로 가뭄의 영향을 표현할 수 있는 장점을 가지고 있다(윤석희·원명수, 2016). SPI의 가뭄정도 판정은 표 1과 같다. 본 연구에서는 다양한 기간의 가뭄을 평가하기 위해 가뭄유형을 별로 1개월(단기가뭄), 3·6개월(중기가뭄), 12개월(장기가뭄)로 설정하였다.

NDVI자료로는 NASA에서 제공하는 Terra 인공위성의 MODIS 센서 자료 가운데 MYD13A3 Product 자료를 사용하였다. 이 자료는 2003년부터 제공되는 월평균 NDVI, EVI 자료로 공간해상도 1×1km이다. 본 연구에서는 2003~2014년의 3월과 5월의 NDVI 자료를 사용하여 분석을 실시하였다.

연구 절차는 그림 1과 같다. 2000~2014년 3월과 5월의 별로 생산된 SPI와 2003~2014년 3월, 5월의 NDVI를 격자단위로 값을 도출한 뒤 변동계수(Coefficient of Variation: CV)를 계산하여 SPI와 NDVI의 변동계수의 공간분포를 분석하였다. 변동계수는 측정단위가 서로 다른 자료의 변동성을 비교할 때 쓰이는 값으로 표준편차를 산술평균으로 나눈 것이다.

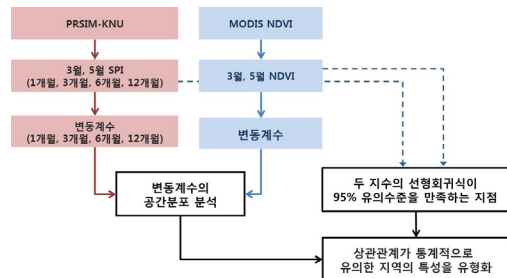


그림 1. 연구 흐름도

표 2. SPI와 NDVI의 상관관계 유형

| 분류 | SPI 변동계수 | NDVI 변동계수 | SPI와 NDVI가 95%유의수준에서 유의미한 상관관계가 있다면, 그 관계의 의미 |
|------|-------------------|-------------------|--|
| 유형 1 | 크다($\leq 50\%$) | 크다($\leq 50\%$) | - 큰 기상학적 가뭄에 식생활력도가 크게 영향을 받는 지점 |
| 유형 2 | 작다($50\% \leq$) | 크다($\leq 50\%$) | - 작은 기상학적 가뭄에도 식생활력도가 크게 영향을 받는 지점 [가뭄에 가장 취약하다고 판단되는 지점] |
| 유형 3 | 크다($\leq 50\%$) | 작다($50\% \leq$) | - 식생활력도가 기상학적 가뭄에 의해 영향을 받지만 그 영향이 크지 않은 지점 |
| 유형 4 | 작다($50\% \leq$) | 작다($50\% \leq$) | - 작은 기상학적 가뭄의 변화에도 영향을 받지만 그 영향이 크지는 않은 지점 |

도출된 변동계수는 중앙값을 기준으로 크고 작음을 판단하였다. SPI와 NDVI의 상관관계는 4가지로 분류하였다. 첫째는 두 지수의 변동계수가 모두 큰 경우이며(case 1), 둘째는 NDVI의 변동계수는 크지만 SPI의 변동계수는 작은 지역이다(case 2), 셋째는 SPI의 변동계수는 큰데 반해 NDVI의 변동계수는 작은 경우이고(case 3), 넷째는 NDVI와 SPI의 변동계수가 둘 다 작은 경우이다(case 4). 각 유형별 예상되는 의미는 표 2와 같다. 각 유형의 분류에는 두 지수의 선형회귀식이 95% 유의수준에서 통계적으로 유의한 지점만을 사용하였다.

III. 연구 결과

1. NDVI 변동계수

2003~2014년 MODIS NDVI자료의 3월과 5월을 대상으로 격자별 변동계수를 계산하여 식생활력도의 변동성에 대한 공간분석을 실시하였다(그림 2). 그 결과 3월의 변동계수 값은 대부분의 지역이 0.1(%)이상으로 5월보다 변동이 큰 것으로 나타났다. 3월에 변동계수가 큰 지역은 지리산 산간과 강원도 산간, 한라산 산지, 그리고 서울, 부산, 대구, 광주 등의 대도시였다. 변동 계수가 크게 나타난 산지지역은 침엽수림보다 활엽수림이 많이 분포

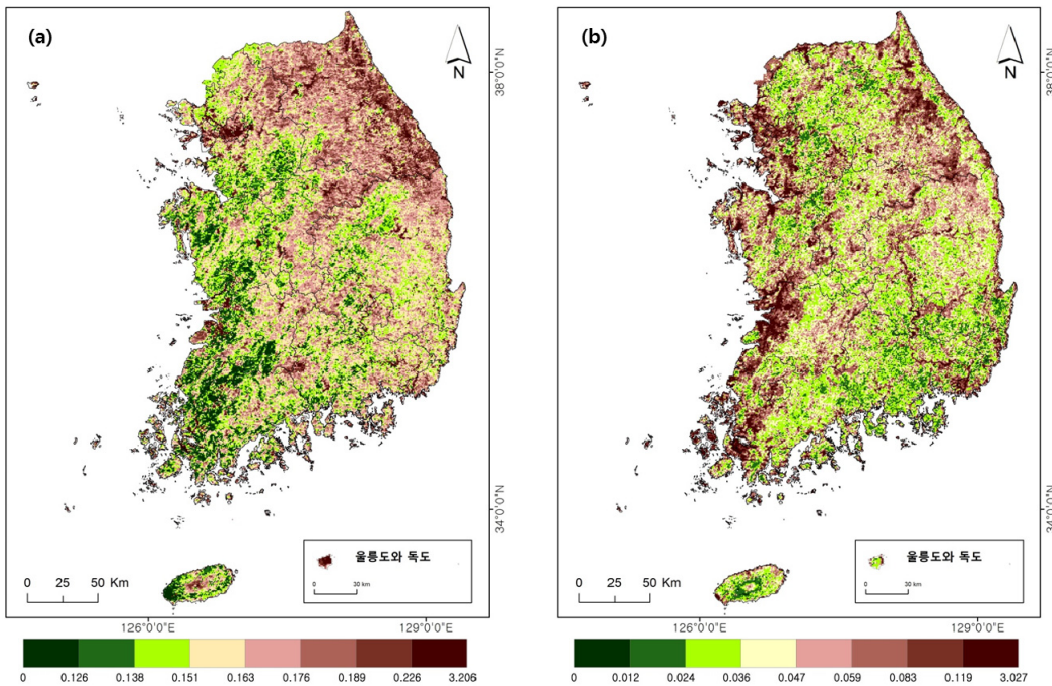


그림 2. 2003~2014년 3월(a)과 5월(b)의 NDVI 변동계수(%)

하는 지역이었다. 3월은 활엽수의 개엽(開葉) 시기 전으로 산지지역의 큰 변동계수는 눈에 의한 영향일 가능성이 있으며 도시지역은 대기의 에어로졸 상태와 관련이 있는 것으로 보여 진다(그림 2-a). 이러한 결과는 추후 검토할 필요가 있다. 이와 비교하여 5월의 변동계수는 저지대 농경지역에서 상대적으로 큰 변화가 나타났다. 이는 강수상황에 따라 작물의 재배 시기나 생육상태의 변화가 발생한 것으로 판단된다(그림 2-b).

2. SPI 변동계수

2000~2014년 PRISM 강수량 자료를 사용하여 격자별로 3월과 5월의 SPI를 계산하였다. SPI는 별(1, 3, 6, 12개월)로 변동계수를 계산하였다(그림 3, 4).

3월의 SPI 1개월의 변동계수는 강원도 전역과 경기

북부 그리고 전라북도 일대에서 크게 나타나며 경기남부, 충청도, 경상도 내륙지역 그리고 남해안 일대에서는 작게 나타난다(그림 3-a). SPI 3개월은 속리산~소백산 일대를 중심으로 북쪽은 변동계수가 크게 분포하고, 남쪽은 작게 분포한다(그림 3-b). SPI 6개월에서는 변동성이 큰 지역이 위도에 따라 반복되어 나타나는 것이 특징이다. 중부지방과 남부지방의 내륙에서 변동계수가 큰 가운데 강원도, 경기도 북부와 동해안, 남해안 일대에는 변동계수는 작다. 전라북도와 속리산, 소백산을 따라 변동계수의 값이 작게 나타난다(그림 3-c). SPI 12개월은 중부지방의 변동계수가 작으며 나머지 지역에서는 변동계수가 크게 분포한다(그림 3-d).

5월의 SPI 1개월의 변동계수는 동해안과 대구 일대, 제주도에서 변동계수가 크게 나타난다(그림 4-a). 이는 5월달 기압배치에 따라 달라지는 기류에 의한 현상인 것

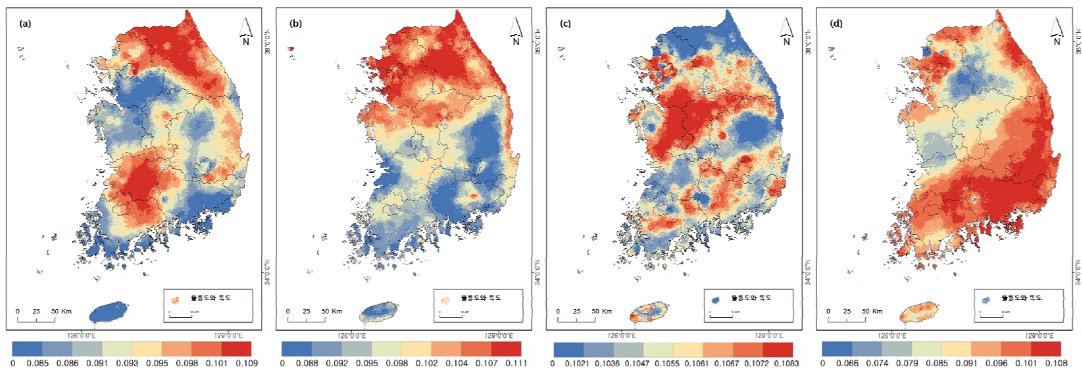


그림 3. 2000~2014년 3월 SPI 변동계수(%)

* SPI 1개월(a), SPI 3개월(b), SPI 6개월(c), SPI 12개월(d).

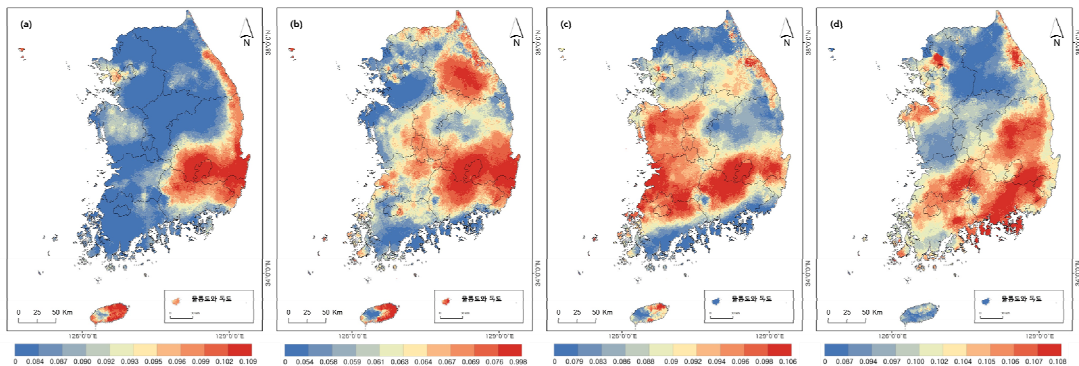


그림 4. 2000~2014년 5월 SPI 변동계수(%)

* SPI 1개월(a), SPI 3개월(b), SPI 6개월(c), SPI 12개월(d).

으로 판단된다. SPI 3개월은 대구를 중심으로 한 경상도 내륙지역과 평창일대의 강원도 내륙지역의 변동계수가 그 이외 지역의 변동계수는 작은 것을 확인 할 수 있다. 경상도 내륙지역은 이동성 고기압에 의한 남서풍, 남동풍의 영향이며 강원도는 북동기류에 의한 것이다(그림 4-b). SPI 6개월은 3개월과 비슷한 패턴을 보이는 가운데 서해안에서 변동계수가 크게 나타난다(그림 4-c). 이는 겨울철 시베리아 고기압과 북서풍에 의한 강수량이 반영된 것으로 판단된다. SPI 12개월의 변동계수는 중부지방에서 크게, 남부지방에서는 변동계수가 작게 나타난다(그림 4-d).

3. NDMI와 SPI의 상관관계를 분석

3월과 5월 두시기의 NDMI와 SPI 변동계수를 4가지 유형으로 분류한 후 선형회귀식 95% 유의수준을 만족하는 부분만 도출하였다(그림 5, 6). 기간별 도출될 셀 개수는 표 3과 같다.

두 지수의 상관관계 분석결과 3월의 식생활력도에 가장 영향을 많이 주는 가뭄지수는 SPI 3개월과 SPI 6개월로 나타났다. 기상학적 가뭄에 식생활력도가 영향을 받는 것으로 판단되는 유형 1과 유형 2은 가뭄지수마다 다른 분포를 나타내는데 한라산과 지리산 산간지대는 모든 가뭄지수에서 유형 2번이 나타나는 지역으로 강수량에 민감한 식생이 분포하고 있는 것으로 판단된다. 호남지방의 저지대는 3번과 4번 유형이 주로 나타나는데, 3월에는 이 지역에 작물의 재배가 시작되지 않아 NDMI의 변동성이 크지 않기 때문이다.

표 3. 선형회귀식 95% 유의수준을 만족하는 셀 개수 및 비율

| 분류 | NDVI와 SPI 별 | 셀 개수 | 비율(%) |
|----|-------------|--------|-------|
| 3월 | SPI 1개월 | 5,119 | 5.39 |
| | SPI 3개월 | 8,443 | 8.89 |
| | SPI 6개월 | 6,140 | 6.47 |
| | SPI 12개월 | 4,455 | 4.69 |
| 5월 | SPI 1개월 | 11,424 | 11.99 |
| | SPI 3개월 | 7,411 | 7.78 |
| | SPI 6개월 | 7,239 | 7.60 |
| | SPI 12개월 | 3,570 | 3.75 |

3월과는 달리 5월의 식생활력도는 SPI 1개월 가뭄지수의 영향을 가장 많이 받는 것으로 나타났으며 장기가뭄 지수보다 단기, 중기 가뭄지수와 상관관계를 만족하는 지점이 많았다. 계룡산, 월악산, 소백산 그리고 태백산 일대와 호남지방의 저지대 농경지가 단기가뭄에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 남부지방은 전체적으로 유형 3, 4가 넓게 분포하여 단기, 중기 가뭄지수의 변동성은 크지만 식생의 활력도가 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. SPI 3개월, SPI 6개월 가뭄지수의 식생활력도가 영향을 많이 받는 지역은 중부지방의 월악산, 여주, 춘천 일대와 경상북도 울진, 영양 산지지대 그리고 전라도 남해안과 지리산 일대이다.

각 유형의 지역적인 분포에 대한 원인을 이해하기 위해서는 추후 토지피복, 식생유형, 지형고도 등 다양한 요인들과의 관계를 살펴볼 필요가 있다.

IV. 토론

본 연구에서는 PRISM 강수량 자료를 사용하여 SPI를 산출하고 이를 MODIS NDMI와 격자별로 상관관계를 분석하였다. 1×1km 격자별 수준에서 상관관계가 높은 지역을 추출하기 위해 두 지수의 선형회귀식이 95% 유의수준에서 통계적으로 유의한 지점만을 선택하였고 이는 전체의 12% 미만인 것으로 나타났다. 이를 통해 격자단 위에서는 강수량만 활용하는 SPI로 식생의 가뭄을 모니터링 하는데 한계가 있다는 것을 알 수 있다. 하지만 기상학적 가뭄에 민감하게 반응하는 식생이 분포하는 지점을 확인하였으며 두 지수의 변동성의 크기에 따라 유형을 구분할 수 있었다. 특히 유형 2번에 해당하는 지점은 식생활력도가 기상학적 가뭄에 영향을 가장 많이 받는 곳으로 판단된다. 소백산과 지리산 일대 그리고 한라산 등의 산지가 이에 포함되며 이 지점들이 강수량에 민감한 원인으로서는 지하수의 부족을 제시할 수 있다. 지하수위의 하강은 가뭄의 시기와 겹치면서 농업활동에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다(송성호 등, 2015). 하지만 농업지역 뿐만 아니라 특정한 외부공급원이 없고 지하수의 저장 공간이 작은 상류 소유역이 가뭄에 취약한 것으로 나타났다(Niehoff *et al.*, 2002; Exbrayat *et al.*, 2010). 따라서 고도나 지하수 보존량을 고려한 SPI와 NDMI의 상관관계 연구가 필요할 것으로 고려된다.

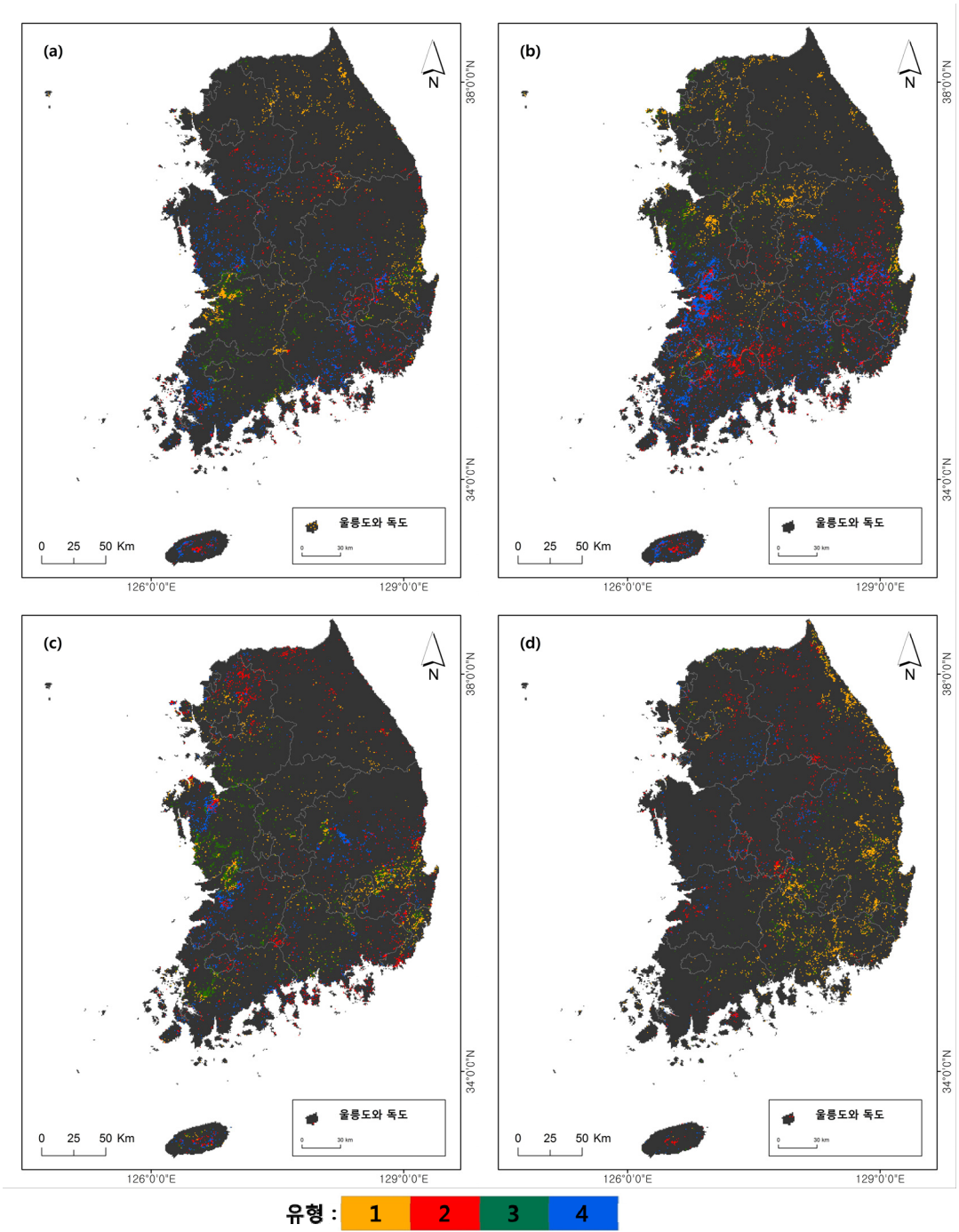


그림 5. 3월 NDVI와 SPI별 변동계수 상관관계 유형 분류(95% 유의수준 만족)

* SPI 1개월(a), SPI 3개월(b), SPI 6개월(c), SPI 12개월(d).

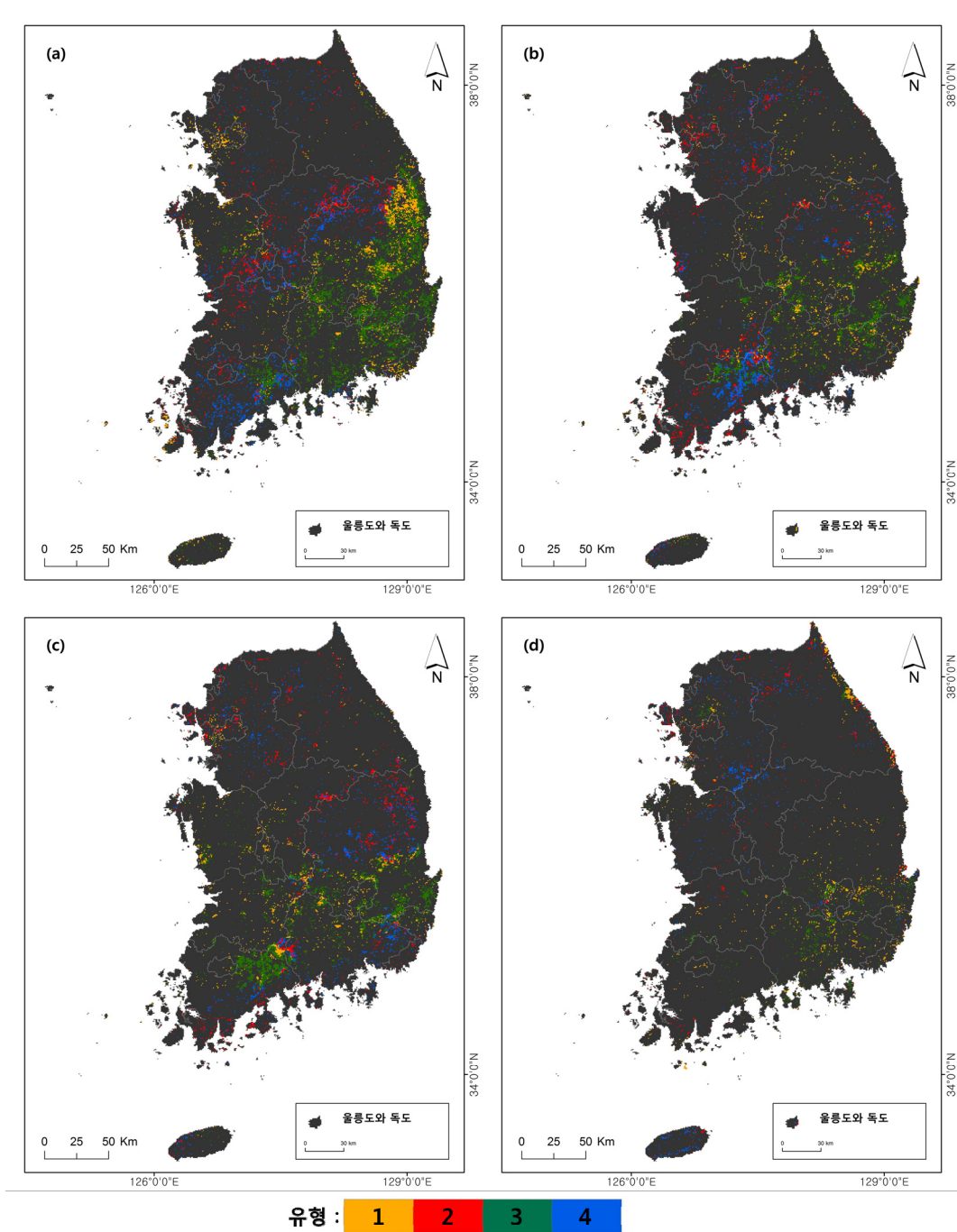


그림 6. 5월 NDVI와 SPI별 변동계수 상관관계 유형 분류(95% 유의수준 만족)

* SPI 1개월(a), SPI 3개월(b), SPI 6개월(c), SPI 12개월(d).

그리고 두 지수의 유의한 상관관계 지점에서 제외된 나머지 약 90%의 지점들은 다른 요인과의 상관성이 더 큰 것으로 추정할 수 있다. 강수량 이외에 식생활력도에 영향을 줄 수 있는 요인으로는 가뭄을 완화시킬 수 있는 수자원관리시설인 저수지, 수로 등을 예시로 들 수 있다. 박종철(2015)은 저수지가 농경지역의 하천유출량 뿐만 아니라 지역의 물수지에 영향을 주는 요인 중 하나라고 제시하였다. 이처럼 수자원관리시설의 영향을 받는 지점은 인간에 의한 관리가 지속되는 곳으로 가뭄이 발생하여도 일정기간 식생활력도가 유지될 수 있기에 강수량과의 상관관계가 낮을 수 있다.

또한 분석의 공간 규모와 가뭄 발생에 영향을 주는 요인의 공간적 규모의 불일치성이 상관관계가 낮은 지점의 원인으로 고려될 수 있다. 본 연구에서는 1×1km 정규격자별로 상관관계를 분석하였지만 실제 가뭄 발생에 영향을 주는 요인은 더 광역적인 것으로 예상된다. 이러한 광역적인 요인으로는 하천유역과 분수계에 의한 물의 공급 형태를 예시로 들 수 있다. 하천의 하류지역은 상류지역의 강수량의 영향을 받기 때문에 강수량이 부족한 상황일지라도 다른 하천의 유입이 있는 지점은 식생활력도가 떨어지지 않을 수 있다. 따라서 앞으로의 연구에서는 분수계, 유역을 설정하여 격자별로 상관관계를 분석한다면 더 유의미한 결과를 얻을 수 있을 것이라고 생각한다.

V. 결론

본 연구에서는 남한 전체를 연구 지역으로 2000~2014년의 SPI자료와 2003~2014년의 NDVI자료를 사용하여 1km 격자별로 두 지수의 상관관계를 분석하였다. 분석과정에서 지수별로 변동계수를 계산하고 유형을 구분하였으며 선형회귀식이 95% 유의수준을 만족하는 지점을 대상으로 상관관계 유형을 분류 하였다. 이를 통해 봄철에 지역별로 민감하게 나타나는 식생과 그에 따른 가뭄 유형을 분석하고자 하였다.

연구 결과 두 지수의 상관관계가 나타난 지점은 전체 지점의 약 12% 미만인 지점들로 이중 산지지역의 식생이 기상학적 가뭄에 민감하게 반응하는 것을 확인하였다. 이와 같은 지점은 가뭄 취약지점으로 관심이 필요한 지점이다. 그리고 나머지 약 90% 지점들은 식생활력도가 강수량이외에 다른 요인과 상관성이 있는 것으로 추정되며 이는 격자단위에서는 강수량만 활용하는 SPI로

식생활력도 기반의 가뭄을 모니터링 하는데 한계가 있다는 것을 암시한다.

두 지수의 격자별 상관관계를 월별로 살펴보면 지속 기간에 따라 다른 분포 패턴을 확인할 수 있었다. 3월의 NDMI 변동계수는 중기 가뭄지수인 SPI 3개월, SPI 6개월과 가장 연관성이 큰 것으로 나타났으며, 한라산과 지리산 산간의 NDVI가 단기, 중기, 장기가뭄지수 모두에 민감하게 반응하였다. 따라서 3월의 식생활력도를 예측하거나 가뭄을 대비하기 위한 용도로는 SPI 3개월과 SPI 6개월이 유용할 것으로 판단된다.

5월의 NDMI 변동계수는 단기, 중기, 장기 가뭄지수 순으로 연관성이 컸으며 계룡산, 월악산, 소백산 그리고 태백산 일대와 호남지방의 저지대는 비교적 단기가뭄에 민감한 것으로 나타났다. 중부지방의 월악산, 여주, 춘천 일대와 경상북도 울진, 영양 산지지역 그리고 전라도 남해안과 지리산 일대는 중기 가뭄에 민감한 것으로 나타났다. 따라서 5월의 식생활력도 예측 및 가뭄 대비 용도의 자료로 호남지방의 농경지는 단기가뭄지수가 유용하며 산지지역은 지역에 따라 단기, 중기가뭄지수가 적절할 것으로 판단된다.

식생은 강수량뿐만 아니라 토지피복, 수문시설, 지형 고도 등의 요인의 영향을 받아 활력도가 변화한다. 본 연구에서는 NDVI 자료와 강수량을 바탕으로 한 SPI자료의 상관관계를 분석하였기에 추후 연구에서는 두 지수의 상관관계 유형의 분포에 대한 원인을 규명하기 위해 다양한 요인들과의 관계를 살펴볼 필요가 있다. 하지만 본 연구는 남한 전체를 대상으로 두지수의 격자별 상관관계를 분석하였다는 점과 봄철 지역별로 식생활력도에 영향을 미치는 가뭄지수를 확인하였다는 점에 대해서 의의가 있다. 본 연구의 결과는 향후 NDVI와 SPI의 상관관계를 분석하여 가뭄을 예측하는 연구에 활용될 것으로 기대된다.

참고문헌

- 김경탁·박정술, 2006, “식생지수와 가뭄지수의 상관성 분석,” 한국습지학회논문집, 8(1), 49-58.
- 김맹기·한명수·장동호·백승균·이우섭·김연희·김성, 2012, “1km 해상도의 관측 격자자료 생산기술,” 기후연구, 7(1), 55-68.
- 김성훈·장동호, 2014, “Landsat 위성영상을 이용한 충청남도임상 분석 및 산림 탄소저장량 추정,” 한국지역

- 지리학회지, 20(2), 206-216.
- 김재엽·장동호, 2015, “대전천 생태하천복원지역의 지표 특성을 위한 원격탐사 자료의 활용,” 한국지리학회지, 4(2), 231-240.
- 박정술, 2006, “MODIS 식생지수와 지표면 수분지수를 이용한 봄 가뭄 평가,” 인하대학교 석박사학위 논문.
- 박정술·김경탁, 2009, “가뭄모니터링을 위한 MODIS NDVI의 활용성 평가-가뭄지수와와의 비교를 중심으로,” 한국공간정보학회지, 17(1), 117-129.
- 박종철, 2015, “농업용 저수지의 물수지 추정을 위한 BROOK90-R 수문 모델의 개발,” 한국지형학회지, 22(5), 101-115.
- 박종철·김만규, 2016, “PRISM-KNU의 개발과 남한 월 강수량 분포도 작성,” 한국지리정보학회지, 19(2), 27-46.
- 박종철·최광준·송성호, 2014, “미래 기후변화에 따른 제주도의 사면과 해발고도별 가뭄 예측,” 한국환경과학회지, 23(4), 649-660.
- 백슬기, 2016, “위성기반의 식생지수를 활용한 가뭄감시 기술 개발,” 중부대학교 석사학위논문.
- 성노훈, 2015, “NDWI를 활용한 한반도 지역의 산림 캐노피에 대한 water stress 평가,” 한국원격탐사학회, 31(2), 77-83.
- 송성호·박종철·안중기, 2015, “지형면과 수문지질단위 분류를 이용한 북한의 지하수 부존량 추정,” 지하수토양환경, 20(7), 23-33.
- 신수현, 2005, “다중시기 정규식생지수(NDVI)를 이용한 가뭄지수의 한반도 적용성 분석,” 인하대학교 석사학위논문.
- 안소라·이준우·김성준, 2014, “기상 및 수문학적 가뭄지수와 위성 식생지수를 활용한 2012년 봄 가뭄 분석,” 한국관개배수논문집, 21(1), 78-88.
- 윤석희·원명수, 2016, “SPI 변화에 따른 산발발생과의 관계 분석,” 한국지리정보학회지, 19(2), 14-26.
- Daly, C., Gibson, W.P., Taylor, G.H., Johnson, G.L., and Pasteris, P., 2002, A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate, *Climate Research*, 22(2), 99-113.
- Exbrayat, J.F., Viney, N.R., Seibert, J., and Wrede, S., 2010, Ensemble modelling of nitrogen fluxes: Data fusion for a Swedish meso-scale catchment, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(12), 2383-2397.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014, Climate change 2013, the impacts, adaptation and vulnerability, in Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., and Hanson, C.E. eds., *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Kogan F.N., 1997, Global drought watch from space, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(4), 621-636.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J., 1993, The relationship of drought frequency and duration of time scales, *8th conference on Applied Climatology*, January, Anaheim, USA, 179-184.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J., 1995, Drought monitoring with multiple time scales preprints, *9th Conference on Applied Climatology*, January, Dallas, USA, 15(20), 233-236.
- Niehoff, D., Fritsch, U., and Bronstert, A., 2002, Land-use impacts on storm-runoff generation: Scenarios of land-use change and simulation of hydrological response in a meso-scale catchment in SW-Germany, *Journal of Hydrology*, 267(1), 80-93.
- 교신 : 장동호, 32588, 충남 공주시 공주대학교로 56, 공주대학교 사범대학관 113호 (이메일: gisrs@kongju.ac.kr)
- Correspondence : Dong-Ho Jang, 56 Gongjudaeak-ro, Gongju-si, Chungcheongnam-do, Korea, 113 College of Education, Kongju National University (Email: gisrs@kongju.ac.kr)

투 고 일: 2017년 6월 25일
심사완료일: 2017년 8월 3일
투고확정일: 2017년 8월 16일