

식생지수와 가뭄지수의 상관성 분석

Correlation Analysis of Vegetation Index and Drought Index

김 경 탁* / 박 정 술**+

Kim, Kyung Tak* / Park, Jung Sool**+

:: Abstract ::

Drought is a natural phenomenon which effects greatly on our society. It has various time scale and it is difficult to define the beginning and the end. So we can't aware it quickly and the damage of drought become severe. To cope with these problems, it needs to construct drought monitoring system. And it is required that the definition of drought which is objective and can be applied widely and proper drought index for drought monitoring. Meteorology and hydrology have developed drought index for drought monitoring. There are many attempt to interpret the drought using NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) or LST(Land Surface Temperature) in remote sensing. In this study, drought index and precipitation is used to find drought severity of last ten years in South Korea. NDVI and VCI is applied to perceive the state of drought. Finally, the possibility of drought monitoring and evaluating drought depth is estimated by analyzing the correlation between vegetation Index and drought index.

Keywords: NDVI, VCI, Drought Index, Precipitation

:: 요 지 ::

가뭄은 인간이 극복하기 힘든 자연재해로 시간규모가 다양하고 누적된 효과가 천천히 나타나기 때문에 인지가 어려우며 이로 인해 피해가 커지는 경향이 있다(최영진, 1995). 가뭄에 적절히 대처하기 위해서는 가뭄의 감시(Monitoring) 체계가 필요하고, 객관적이고 널리 적용될 수 있는 가뭄의 정의와 가뭄의 정도를 정량적으로 나타낼 수 있는 지표가 필요하다. 기상학 및 수자원에서는 가뭄 감시를 위해 현 상태에 대한 정량적인 가뭄심도를 나타내는 가뭄지수를 사용하고 있으며 원격탐사 분야에서는 다중시기의 식생지수 및 지표면 열지수 등을 활용하여 가뭄여부를 판단하는 노력을 수행하고 있다. 본 연구에서는 과거 10년간 남한의 가뭄시점에 대한 가뭄지수 분석을 통하여 가뭄의 심도를 파악하였고,

+ To whom corresponds should be addressed. ktkim1@kict.re.kr

* 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원

Water Resources Research. Division, Korea. Institute of Construction Technology

** 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원

Water Resources Research. Division, Korea. Institute of Construction Technology

정규식생지수(NDVI)와 식생상태지수(VCI)를 활용하여 가뭄현황을 판별하였다. 또한, 식생지수와 가뭄지수의 상관성분석을 통하여 식생지수를 이용한 정량적인 가뭄분석의 가능성을 모색하였다.

핵심용어: 정규식생지수(NDVI), 식생상태지수(VCI), 가뭄지수 (Drought Index), 강우량

1. 서론

가뭄이란 어느 지역의 작물 성장이나 물 공급에 영향을 줄 정도로 물수지에 심각한 불균형을 초래하는, 비정상적인 날씨가 장기간 지속되는 현상을 말한다. 가뭄은 복잡한 자연재해로 전 지구적으로 환경적, 사회적, 경제적 손실을 초래하며 시작과 끝이 불명확하고 느리게 발전해 나가며 광역적으로 진행되는 이유로 감지와 감시가 힘들다(Wilhite, 1985).

최근 30년 동안의 기록을 보면 우리나라는 약 5~8년 주기로 가뭄이 발생하고 있으며 최근 10년 동안 1994년~1995년 여름과 2000년~2001년 봄에 가뭄이 발생하였다(이동률과 김웅태, 2001). 이러한 주기적 가뭄을 효율적으로 관리하기 위해 가장 필요한 요소는 가뭄의 상황을 시·공간적으로 나타내는 것이다. 즉, 시간적으로 가뭄이 어떤 양상으로 발생하고 있는가와 공간적으로 가뭄지역의 발생 분포를 파악하는 것이 가뭄관리를 위한 첫 번째 요소이다. 이와 같은 분석은 가뭄을 정량화하여 지수로 나타내는 가뭄지수를 이용하여 수행할 수 있는데, 현재 가장 일반적으로 이용되고 있는 가뭄지수들은 PDSI (Palmer Drought Severity Index), SWSI (Surface Water Supply Index) 및 SPI (Standard Precipitation Index) 등이며, 이들 지수들은 각각의 장단점을 가지고 있으면서 그 특성에 맞게 적용되고 있다(유재희 등, 2001).

PDSI는 약 6개월 이상 장기간의 강수량 부족에 의한 가뭄의 평가에 적절한 기상학적 가뭄지수로서 현 상황에 기후적으로 필요한 강수량과 평균 강수량의 누가 편차로 산정된다. 단기간의 강수량 부족으로 인한 가뭄을 적절히 나타낼 수 있는 지수로는 기간에 따른 총강수량으로 지수를

산정할 수 있는 SPI가 적절한 가뭄평가지수이다. SWSI는 수문인자를 고려한 가뭄지수로 유역을 대표하는 가뭄지수를 선정하여 유역단위 가뭄감시가 가능하다(유재희, 2000). 본 연구에서는 대상지역인 남한의 월별 가뭄지수 산정을 위해 PDSI와 SPI를 사용하여 가뭄에 대한 평가를 실시하였다.

가뭄지수와 더불어 위성영상 자료를 이용하여 획득한 식생지수들을 이용하면 광역성, 주기성, 동시성 등을 요하는 가뭄의 분포 파악을 효과적으로 수행할 수 있으며 광역적인 접근과 신속한 대책을 강구하는데 영상자료의 이용은 효과적이다. 일반적으로 식생은 가뭄에 의해 물 공급이 원활하게 이루어지지 못할 경우 스트레스를 받게 되어 식생의 활력도가 저하하게 되는 결과를 초래한다. 식생의 활력도는 우리나라를 상시 관측하고 있는 인공위성을 이용하여 위성자료로부터 쉽게 얻을 수 있는 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index ; NDVI)를 이용함으로써 정량적으로 표현할 수 있다. 또한, 인위적인 조건 및 지형의 변화가 발생되지 않는 지역에서 NDVI의 변화가 발생했다면 이를 기상요소의 영향에 의한 것으로 간주하는 Kogan(1995)의 식생상태지수(Vegetation Condition Index ; VCI)를 이용하여 기상조건에 의한 식생 활력의 증가 및 감소에 대한 정보를 정량적으로 파악할 수 있다. 즉, 동일시점의 주기자료에서 식생 활력의 감소는 식생의 성장을 직접적으로 억제하는 가뭄과 관련된 기상조건에서 발생할 수 있다는 가정에서 가뭄현상을 평가하게 된다.

본 연구에서는 가뭄지수를 이용하여 가뭄심도를 파악한 후, 인공위성에 의해 획득되는 식생정보를 가뭄평가를 위한 객관적 지표인 가뭄지수와 비교하였다. 이를 통하여 식생자료를 통한 정량

적인 가뭄심도 파악을 시도하였으며 식생활력도를 이용하여 광역적 규모의 가뭄현상을 파악하고자 하였다.

2. NDVI와 VCI

2.1 NOAA NDVI

NOAA 위성은 미국 해양대기청 (National Oceanic and Atmospheric Administration ; NOAA)에서 운영하고 있는 기상관측 위성이다. 이 위성은 지구 관측과 환경감시를 위한 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 센서가 탑재되어 있으며 AVHRR 센서는 5개의 적외선, 근적외선, 열적외선 밴드를 이용하여 지구 규모의 식생정보 획득 및 해양 모니터링을 비롯한 다양한 분야에 사용되고 있다.

특히 AVHRR 센서는 전 지구적인 가뭄관측을 위해 널리 사용되고 있으며(Kogan, 1997) 식생의 상태를 평가하고 특성화 할 수 있는 많은 요소들을 갖고 있다. 기본적인 접근은 다중시기의 NDVI를 이용하여 변화를 탐지하는 것이다. AVHRR 센서의 높은 주기 해상도와 넓은 관측폭은 전 지구 혹은 지역적인 범위에 있어서 식생의 활력을 탐지하는데 유용하게 사용될 수 있다. NDVI는 위성자료인 적색광과 근적외선 영역의 산술적인 연산을 통해 다음 식(1)과 같이 계산된다.

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

여기서, NIR은 근적외선 밴드의 분광반사이며, Red는 적외선 밴드의 분광반사도이다. 위 식은 AVHRR센서의 밴드연산을 통해 (Ch.2-Ch.1)/(Ch.2+Ch.1)로 표현된다.

NOAA NDVI는 다음과 같은 이유로 기상학적인 가뭄탐지에 많은 장점을 갖고 있다. 첫째 NOAA NDVI의 공간해상도는 1.1Km로 다른 기상위성들과 비교하여 공간해상도가 뛰어나다. 둘째, AVHRR센서는 촬영범위가 2,500Km로 매우

넓은 지역을 커버한다. 셋째, 기상관측소가 존재하지 않는 지역에 활용범위가 좋다. 넷째, NOAA NDVI는 물 부족으로 인한 식생 스트레스를 나타내는 척도이다(Lei, 2003).

NDVI를 기반으로 한 가뭄모니터링을 통해 식생의 활력은 수분상태와 관련이 있다는 것이 증명되었으며 최근 들어 이와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 NDVI와 강우량을 단순 비교하기에는 복잡한 변수들이 포함되어 있다. 우선 식생의 활력은 홍수나 영양부족, 질병, 산불, 인간 활동 등 외부적인 요인에 영향을 받으며 이러한 영향이 식생의 활력에 영향을 미친다면 상관성은 떨어지게 된다. 관측시점도 식생지수와 강우량의 관계를 결정짓는 중요한 요소 중 하나이다. 식생은 생물계절학적 주기에 따라 생장을 진행하며 생장 주기에 따라 강우량과의 상관관계도 달라지게 된다. 이와 같은 이유로 식생지수와 강우량과의 상관성 분석을 위한 연구는 생물이 성장하는 시점인 3월에서 10월 사이에 주로 진행된다.

2.2 식생상태지수 (VCI)

Kogan(1995)은 가뭄의 평가를 위하여 식생상태지수(Vegetation Condition Index, VCI)를 제안하였다. 이는 인공위성으로부터 측정된 근적외선과 가시영역의 반사도로 산출되는 NDVI를 이용하여 얻을 수 있으며 다음 식(2)와 같다.

$$VCI = 100 \times \frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (2)$$

어떠한 기상요소의 변화에 의해 식물의 생태학적 변화가 초래되었다고 할 때 이러한 생태학적 변화에 영향을 주는 기상 요소의 변화를 지상 관측 기상 자료로부터 검출한다는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서, 생태학적 변화로부터 이에 영향을 준 기상요소의 변화를 간접적으로 추정하는 방법을 생각할 수 있다. 그러므로 NDVI의 변화로부터 추정되는 기후의 변화는 다양한 기상 조

건을 반영한다고 볼 수 있다. 그러나, NDVI의 변화는 인위적 혹은 자연적인 식생조건의 변화에 따른 영향과 기상요소의 변화에 따른 영향으로 나누어 생각할 수 있다. 열대우림이나 사막지역 등은 NDVI의 변화가 지역적 특성에 기인하는 경우이나 동일지역에서, 즉 지역 및 지형의 변화가 발생되지 않는 지역에서 NDVI의 변화가 발생되었다면 기상요소의 영향에 의한 것으로 생각할 수 있다. Kogan(1995)은 이러한 식생에 영향을 주는 기상 요소의 변화를 검출하기 위하여 각 화소별로 몇 년에 걸쳐 NDVI의 최대값과 최소값을 계산하여 이용하는 방법을 제안하였다.

식생의 양이 최대를 보인다는 것은 최상의 기상조건이 주어졌다는 것을 의미하며, 이러한 조건에서의 기후는 토양속의 영양분 흡수를 촉진시켜 생태자원의 활력도를 증진시킨다. 반면에, 식생의 양이 최소일 때는 생태자원의 활력을 저하시키고 식생의 성장을 직접적으로 억제하는 가장 최악의 기상조건(예, 가뭄시의 물부족)에서 나타날 것이다.

VCI는 동일 시점의 NDVI를 이용해 산정된 NDVI 최대치와 NDVI 최소치를 계산하여 얻어진다. VCI는 NDVI에서 기후변동과 관계하며, 0에서 100까지 변화한다. VCI가 0에 가까울수록 식생의 활력에 문제가 발생하고 있음을 나타낸다. VCI는 토지피복 및 식생의 시·공간적 변화뿐만 아니라 식생에 미치는 기상의 영향을 정량화하기 위하여 사용될 수 있다. 더욱 중요한 것은 VCI를 통하여 서로 다른 생태학적 특징을 갖는 지역에서 기상의 영향을 비교할 수 있다는 점이다. 이러한 VCI를 통하여 기상조건에 따른 식생 활력의 증가 혹은 감소에 대한 정보를 정량적으로 파악할 수 있다(김철준, 2003).

Kogan(1995)은 가뭄 분석을 위한 VCI의 범위를 결정하기 위하여 농작물 생산성과의 상관관계를 분석하였다. 그 결과, VCI 값이 0에서 35 이하의 값으로 나타날 경우 가뭄에 의해 농작물의 생산성이 20% 감소하는 것으로 보고하고 있다. 따라서, VCI로부터 가뭄을 판별하기 위한 지

표(indicator)로서 35이하를 추천하고 있다(신사철과 김철준, 2003).

3. 가뭄지수의 활용

3.1 PDSI (Palmer Drought Severity Index)

Palmer (1965)는 가뭄을 “장기간의 이상습윤 부족”이라 정의하였으며, 이상습윤 부족은 “정상적인 기후에서 현저하게 벗어난 비정상적인 습윤 부족 기간”이라 정의된다. 이는 일반적으로 사소한 불편이나 고통 등을 발생시키는 수분부족이 아니라, 수분의 부족이 심하여 인명 또는 재산의 손실을 야기하는 현상으로써, 최소한 2~3개월에서 일반적으로 1년 이상 장기간의 수분부족이 지속되는 것을 의미한다. 이러한 가뭄의 정의를 통해 Palmer는 가뭄의 심도를 수분부족량과 수분부족기간의 함수로 나타내었는데, 통계적으로 시간과 공간의 일관된 비교를 통해 얻어지는 가뭄지수의 개발을 위해 기후적으로 상이한 두 지역인 미국의 Kansas와 Iowa 지역을 대상으로 하여 식 (3)과 같은 가뭄지수 산정공식을 유도하였다.

$$X_i = 0.897X_{i-1} + \frac{Z_i}{3} \quad (3)$$

여기서 X는 가뭄지수, Z는 수분이상지수, i 는 해당월을 의미한다.

표 1. PDSI 가뭄지수 심도 분류

표준강수지수	분 류
4.00 이상	극한습윤 (Extremely wet)
3.00 ~ 3.99	심한습윤 (Very wet)
2.00 ~ 2.99	보통습윤 (Moderately wet)
1.00 ~ 1.99	약한습윤 (Slightly wet)
0.99 ~ -0.99	정상상태 (Normal)
-1.00 ~ -1.99	약한가뭄 (Mild drought)
-2.00 ~ -2.99	보통가뭄 (Moderate drought)
-3.00 ~ -3.99	심한가뭄 (Severe drought)
4.00 이상	극한가뭄 (Extreme drought)

3.2 SPI (Standard Precipitation Index)

Mckee 등(1993)은 가뭄이 상대적으로 물의 수요에 비해 물의 부족을 유발하는 강수량의 감소에 의해 시작된다는 것에 착안하여 SPI (Standard Precipitation Index)를 개발하였다.

SPI를 산정하기 위해서는 우선 시간단위별 누가강수 시계열을 구성하여야 하며, 이는 이동 누가에 의한 방법으로 월 강수량을 시간단위에 따라 연속적으로 중첩하여 구한다. 즉, 각 월을 기준으로 하여 시간단위별로 해당하는 누가강수 시계열을 산정하게 되며, 이를 누가된 월수로 나누어 고려해준 월에 따른 이동 평균 강수계열을 획득한다. 지속시간별 시계열이 구성되면 이 시계열을 월별로 분석하여 적정 확률분포형을 산정하고, 산정된 적정 확률분포형을 이용하여 개개 변량의 누가확률을 구한 후, 표준정규분포에 적용시켜 표준강수지수를 산정한다. 예를 들면, 적정 확률분포에 해당하는 누가확률을 P_1 이라고 하면 표준정규분포의 누가확률 P_2 가 P_1 과 같게 되는 Z 값을 구하게 되며 이 값이 표준강수지수가 된다. SPI는 특정한 시간에 대한 즉, 계산 시간단위를 1, 3, 6, 9, 12 개월 등으로 강우의 누적상태를 설정하고 시간단위별로 강수 부족량을 산정한다.

표 2. SPI 가뭄지수 심도 분류

표준강수지수	분 류
2.00 이상	극한습윤 (Extremely wet)
1.50 ~ 1.99	심한습윤 (Very wet)
1.00 ~ 1.49	보통습윤 (Moderately wet)
-0.99 ~ 0.99	정상상태 (Normal)
-1.00 ~ -1.49	보통가뭄 (Moderate drought)
-1.50 ~ -1.99	심한가뭄 (Severe drought)
-2 이하	극한가뭄 (Extreme drought)

4. 적용 및 고찰

4.1 NDVI, VCI 자료의 작성

식생지수를 이용한 가뭄모니터링을 효과적으로

수행하기 위한 기본단계는 장기간의 자료를 수집하여 식생의 변화양상이 가뭄발생 유무에 따라 어떻게 구별되는지를 파악하는 일이다. 본 연구에서는 1994년~2003년을 대상으로 기하보정된 NOAA NDVI Product를 제공하는 일본 농림수산성의 농업정보자원시스템 홈페이지를 통해 자료를 수집하였다.

해당 사이트에서는 NOAA AVHRR 센서를 이용하여 제작한 10일단위의 NDVI Composit 결과물을 제공하고 있다. NOAA 위성의 AVHRR 센서는 광학 센서이므로 대상지역이 구름으로 덮여있는 경우 지상의 정보를 얻을 수 없게 된다. 그러나 넓은 지역을 대상으로 하는 경우 구름의 영향이 전혀 없는 날의 위성자료를 얻는 것은 불가능하며 어떠한 방법에 의하여 구름의 영향을 제거한 NDVI를 작성할 필요가 있다. 복수의 NDVI로부터 각 화소별 최대치를 선택함으로써 구름의 영향을 최소화한 NDVI 자료를 얻을 수 있으며 이와 같은 대기보정 방법을 MVC (Maximum Value Composit) 기법이라 한다. 일본 농림수산부는 매달 1일, 11일, 21일 대해 MVC기법을 적용하여 생산한 NDVI 합성영상을 제공하고 있다.

AVHRR 센서의 하나의 Pixel이 갖는 공간해상도는 $1.1\text{Km} \times 1.1\text{Km}$ 이나 이는 위성의 연직방향의 지표면에 한정되며, 본 연구에 활용된 NDVI 자료는 GAC(Global Area Coverage)로 공간해상도는 4Km의 BSQ(Band SeQuential) 파일이다. 제공받은 NDVI의 전처리 과정을 수행한 뒤 3개의 10 day Composit 영상을 평균하여 각 월을 대표하는 NDVI를 제작하였으며 식 (2)를 활용하여 각 월에 해당하는 VCI를 작성하였다.

VCI는 식생 변화를 통해 장기간에 걸친 기상학적 변화 요인을 분석하기 위한 지수로 자연상태의 변화는 없는 것으로 간주하였으며 동일시기의 NDVI를 비교하여 제작하였다. 예를 들어 봄 가뭄을 분석하기 위해 5월의 VCI를 작성한다고 한다면 1994년~2003년의 5월 데이터가 비교대상이며 이중 가장 큰 NDVI를 갖는 해가 NDVI_{max} 가

장 작은 NDVI를 갖는 해가 $NDVI_{min}$ 이 되며 비교하고자 하는 특정 5월 NDVI가 $NDVI_i$ 가 된다. 그림 1은 1994년부터 2002년까지의 NDVI와 강우량의 관계를 개략적으로 도시한 것이다.

4.2 가뭄지수 자료를 활용한 가뭄분석

“가뭄관리 종합대책 수립연구(한국수자원공사, 2002)”를 통해 한국건설기술연구원에서는 1971년 이후의 가뭄지수를 산정하였으며 2000년 11월 이후의 가뭄지수는 공간분포도를 작성하여 웹(www.drought.re.kr)을 통해 제공하고 있다. 본 연구에서는 위 연구수행결과로 계산된 가뭄지수를 이용하여 1994년~2003년의 가뭄지수 공간분포도(이하 맵)를 작성하였다. 가뭄지수는 PDSI, 및 SPI를 사용하였으며 54개 강우관

측소에 대한 가뭄지수를 Spline 방법으로 보간하였다. 가뭄지수 맵은 공간해상도 1Km의 그리드 자료이며, 그림 2는 SPI 3개월 가뭄지수와 VCI를 비교한 것이다.

본 연구에서는 가뭄지수 맵의 평균값을 이용하여 남한의 월 가뭄지수를 산정하였으며 지난 10년간 가뭄발생시점의 가뭄지수를 통하여 가뭄의 심도를 파악하였다.

표 3은 1994년~2003년을 대상으로 가뭄이 발생한 해의 강우량 및 가뭄지수를 도시한 것이다. 가뭄지수는 강우량으로 설명이 안 되는 가뭄의 적량적인 심도를 나타낼 수 있으며 장기간 혹은 단기간의 가뭄변화에 대한 설명이 가능하다. 표 3의 굵은 글씨는 심한가뭄이 발생한 시점을 나타낸 것이다(pdsi: -3 이하, spi: -1.5이하).

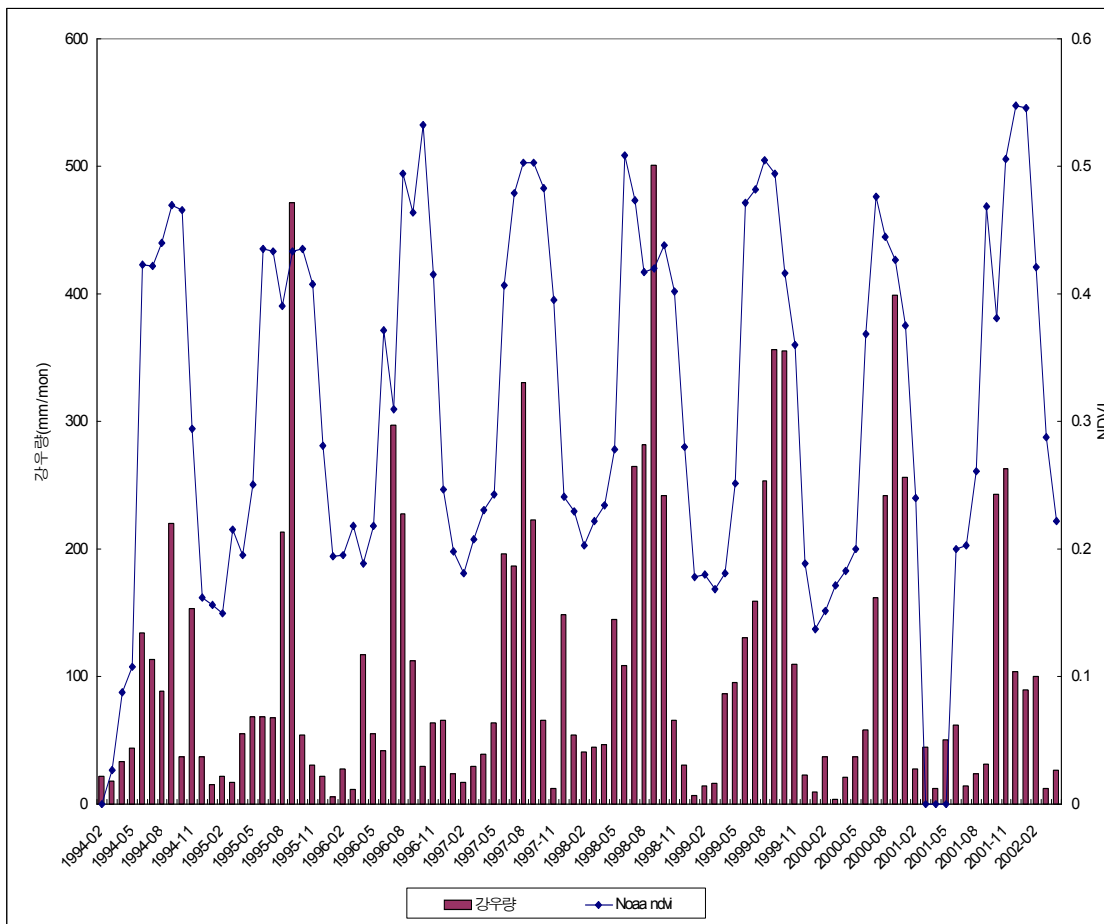


그림 1. 1994년~2002년까지의 NDVI와 강우량의 관계

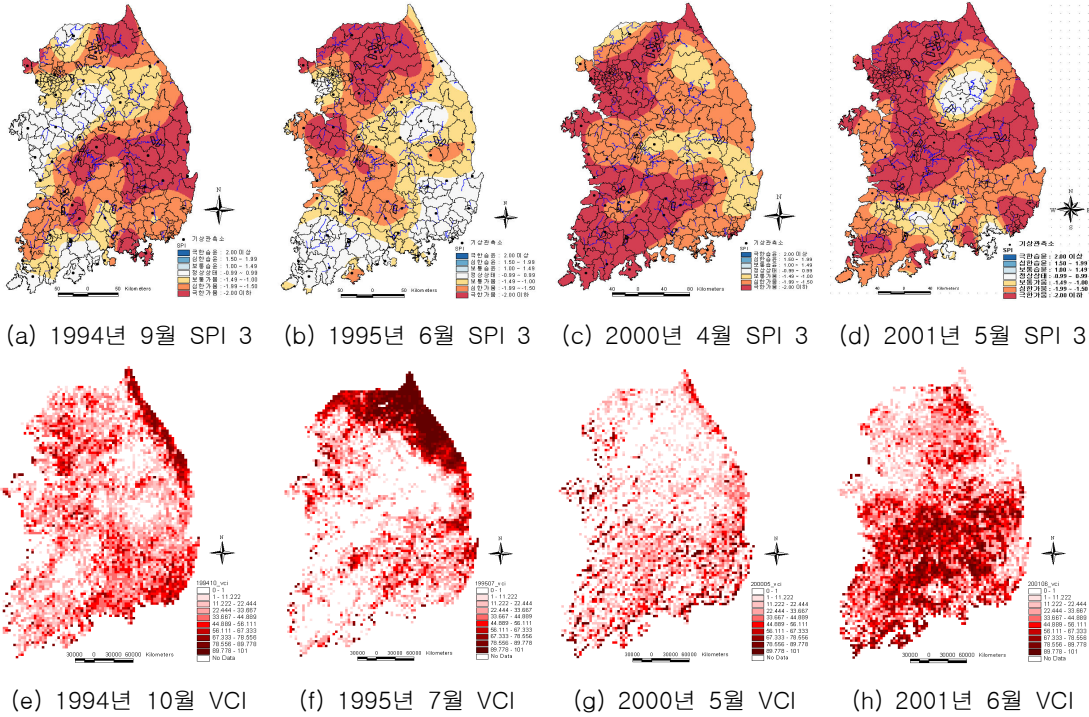


그림 2. SPI 3개월 가뭄지수와 VCI와의 비교

6개월 이상의 연속적인 장기가뭄 특성을 파악하는데 적합한 가뭄지수인 PDSI가 낮은 1994년과 1995년의 경우 장기간의 가뭄이 발생하였고 그 심도가 매우 심했음을 알 수 있다. 반면에 2000년 봄 가뭄의 경우 누적기간 6개월의 SPI가 가장 높은 값을 보이며, 이는 4월과 5월의 봄 가뭄이 1999년 겨울부터 누적된 강수량 부족의 결과라는 것을 판단할 수 있다. 2001년의 봄 가뭄의 경우 누적기간 3개월의 SPI를 통해 잘 파악할 수 있으며, 이를 통해 2001년 가뭄이 단기간의 강수량 부족에 의해 발생하였으며, 사회적 파장을 고려했을 때 지속기간은 짧았으나 그 심도는 매우 컸음을 짐작할 수 있다.

가뭄지수, 강수량과 VCI값을 비교한 결과 VCI는 동일시기의 강수량 혹은 가뭄지수 결과를 반영하는 것이 아니라 약 1개월 지체되어 가뭄시기를 반영함을 알 수 있다. 표 3의 VCI와 평년강우대비표를 비교해 보면 가뭄기간이 끝난 후에 VCI 값이 큰 폭으로 낮아졌음을 확인할 수 있다.

또한, 가뭄기간 동안 내린 비의 양이 예년과 비교하여 얼마나 적은가에 따라 VCI값은 결정된다. 또한, VCI값은 단기간의 강수량 부족으로 인한 가뭄의 정도를 나타내는 SPI 3개월 지수와 가장 큰 상관성이 있는 것으로 분석되었다.

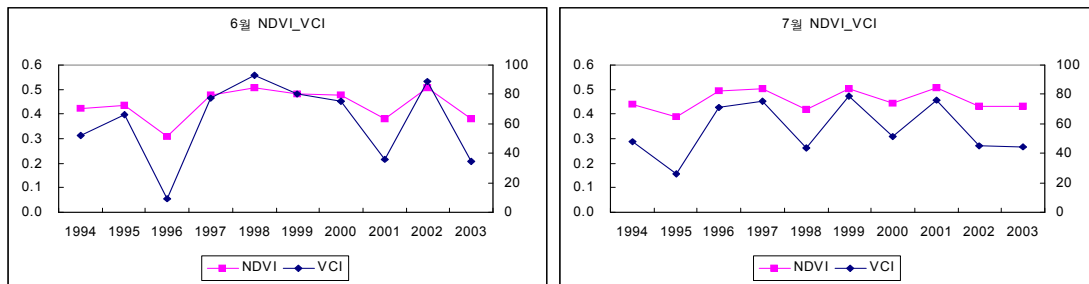
4.3 식생지수와 가뭄지수의 분석

VCI는 동일한 식생조건에서 기상학적인 영향에 의한 식생지수의 변화를 탐지하는 것이므로 년 VCI를 정량적인 식생값으로 나타내기에는 한계가 있다. 따라서 그림 3과 같이 NDVI와 VCI가 선형관계가 있음에 기인하여 1994년~2003년의 NDVI와 강수량 및 가뭄지수의 상관성을 분석해 보고 어떤 가뭄지수가 식생지수와 가장 큰 상관성을 갖고 있는지를 비교하였다.

각 요소별 비교는 1994년 3월부터 2003년 10월을 대상으로 수행하였으며 적설로 인한 관측 오차를 배제하기 위해 11월~2월 사이의 NDVI값은 제외하였다. 표 4는 NDVI와 강수량, 가뭄지

표 3. 가뭄발생 시기에 따른 가뭄지수 값

	Month	NDVI	VCI	PDSI	SPI 1	SPI 3	SPI 6	월강우량 (mm/month)	10년 평균강우 대비 (%) (1994~2003)
1994년	7월	0.440	47.891	-2.905	-1.684	-1.044	-1.441	88.712	34.20%
	8월	0.469	55.612	-3.630	-0.280	-1.263	-1.366	219.759	66.88%
	9월	0.466	61.583	-4.523	-1.080	-1.566	-1.557	37.437	25.20%
	10월	0.294	26.813	1.066	1.610	-0.366	-0.912	153.620	229.98%
1995년	4월	0.250	70.683	-2.124	-0.274	-0.521	-0.759	68.965	79.11%
	5월	0.436	52.774	-2.284	-0.501	-0.507	-0.788	68.333	63.78%
	6월	0.433	65.874	-3.153	-1.053	-1.401	-1.383	68.0165	38.67%
	7월	0.390	26.024	-3.474	-0.445	-1.070	-1.152	212.956	82.09%
2000년	2월	0.171	67.569	0.909	-1.382	-0.806	1.365	3.484	13.17%
	3월	0.183	60.572	0.580	-1.324	-1.192	-0.508	20.873	39.72%
	4월	0.200	46.173	0.205	-1.034	-1.877	-2.012	37.614	43.15%
	5월	0.369	18.192	-0.287	-0.652	-1.387	-1.573	57.870	54.02%
2001년	3월	0.203	71.667	-0.201	-1.461	0.284	-0.397	14.427	27.45%
	4월	0.261	75.263	-0.833	-1.481	-1.092	-0.759	24.261	27.83%
	5월	0.469	70.945	-1.724	-1.386	-1.923	-1.222	31.505	29.41%
	6월	0.381	35.918	-0.758	0.812	-0.331	-0.151	243.256	138.30%



(a) NDVI_VCI 비교 (6월)

(b) NDVI_VCI 비교 (7월)

그림 3. NDVI와 VCI 값의 비교 (1994-2003)

표 4. NDVI와 강우량, 가뭄지수와의 상관관계

	강우량		PDSI		SPI 1		SPI 3		SPI 6	
	동일 시기	1개월전	동일 시기	1개월전	동일 시기	1개월전	동일 시기	1개월전	동일 시기	1개월전
NDVI	0.360	0.400	0.022	-0.005	0.001	-0.016	0.089	0.057	0.054	0.005

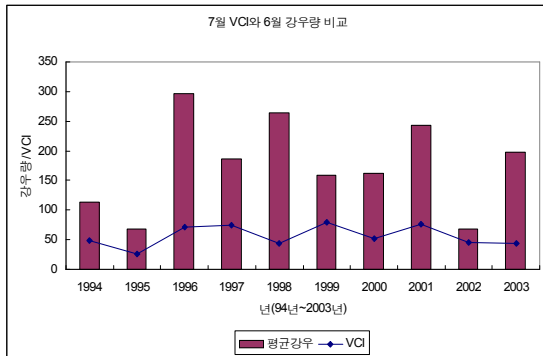
수와의 상관관계를 나타내고 있다. NDVI와 강우량은 미세한 상관성을 확인할 수 있으나 가뭄지수와는 거의 상관관계가 없음을 확인할 수 있다. SPI 3개월 지수가 다른 지수들에 비해 높은

값을 가지나 이 또한 큰 상관을 갖지 못하므로 식생지수와 가뭄지수의 상관성 분석을 위해 어떤 가뭄지수가 적합한지는 판단할 수 없었다.

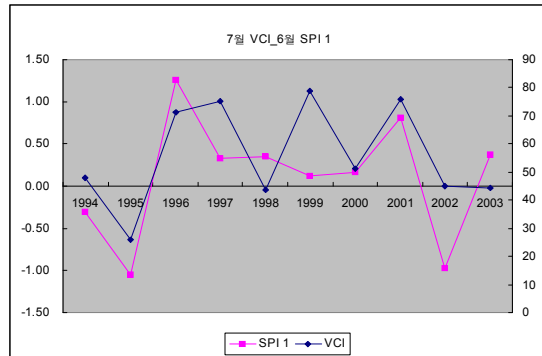
한편, 월별 데이터를 활용하여 VCI와 강우량,

표 5. VCI와 강수량, 가뭄지수와의 상관관계

	강수량		PDSI		SPI 1		SPI 3		SPI 6	
	동일 시기	1개월전	동일 시기	1개월전	동일 시기	1개월전	동일 시기	1개월전	동일 시기	1개월전
5월 VCI	0.046	0.284	0.327	0.430	0.112	0.281	0.153	0.344	0.328	0.567
6월 VCI	-0.464	0.283	-0.009	0.348	-0.580	0.427	-0.129	0.234	-0.161	0.231
7월 VCI	0.092	0.523	0.213	0.384	0.073	0.684	0.324	0.356	0.232	0.332
8월 VCI	-0.778	0.246	-0.311	0.298	-0.728	0.217	-0.384	0.395	-0.374	0.274
9월 VCI	-0.712	-0.516	-0.716	-0.694	-0.736	-0.620	-0.759	-0.563	-0.708	-0.593



(a) 7월 VCI와 6월 강수량 비교



(b) 7월 VCI와 6월 SPI 지속기간 1개월

그림 4. VCI와 강수량, 가뭄지수와의 비교

가뭄지수와의 관계를 비교하였다. 월별 데이터 분석은 봄 가뭄의 영향을 가장 많이 받는 5월부터 식생의 활력이 가장 큰 9월까지 총 5개월에 대해 실시하였다.

월별 VCI 값과 강수량, 가뭄지수와의 상관성을 분석한 결과 동일시기 보다는 1개월 전의 강수량 및 가뭄지수가 VCI와 상관성이 높은 것으로 분석되었다. 식생의 생장이 진행되는 시점인 5월~8월 사이에는 가뭄지수와 VCI가 미세한 상관성을 보이거나 식생의 활력이 정점에 다를 시점인 9월에는 오히려 VCI와 가뭄지수가 음의 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 이는 식생의 생장이 완료된 시점에는 기상조건에 크게 영향 받지 않음을 나타내는 결과로 해석할 수 있다. 또한, 해마다 찾아오는 9월 태풍으로 인해 홍수와 같이 식생지수에 영향을 주는 외부요인의 영향도 고려할 수 있을 것이다.

표 5의 결과를 토대로 식생지수와 높은 상관성을 갖는 가뭄지수를 선택하기에는 무리라고 판단

되며 VCI를 활용하여 가뭄심도를 보다 정량적으로 파악하기 위해서는 토지피복에 대한 고려는 물론 지표면의 온도지수와 토양의 수분함유량, 증발산량 등 가뭄모니터링에 사용할 수 있는 여러 지표들의 고려가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 식생상태지수 (VCI)와 가뭄상황을 정량적으로 나타내는 지표인 가뭄지수와의 비교를 통해 원격탐사자료를 이용한 가뭄 심도 파악 및 가뭄감시 가능성을 모색하기 위해 수행되었다. 연구결과 가뭄지수는 가뭄의 객관적 상태를 파악할 수 있는 지표로 사용될 수 있으며 1994년 가뭄과 같은 장기적인 가뭄에는 PDSI 지수가 유용한 반면 2001년 봄 가뭄과 같이 단기간의 가뭄을 감시하기 위해서는 SPI가 효과적이라는 것이 확인되었다. 본 연구에 사용된 NOAA AVHRR 자료로부터 얻어진 NDVI 자료와 VCI

자료는 가뭄분석을 위한 유용한 도구이다. 그러나 영상자료를 이용한 가뭄감시 가능성 분석의 효율적인 수행을 위해서는 다음과 같은 사항들에 대한 고려가 필요할 것으로 생각된다. 공간해상도가 4 Km인 NDVI를 사용함으로써 식생에 대한 분포가 정밀하게 표현되지 못했으며 전체적인 식생인자들의 감소를 초래하였다. 향후 보다 향상된 해상도의 식생지수 사용이 요구된다. 또한, 남한을 대상으로 특정 월을 대표하는 NDVI 및 VCI를 추정함으로써 식생이 분포하지 않는 도시 및 나지 등에 대한 피복상황을 고려하지 못하는 결과를 초래하였고 54개 기상관측소를 보간하여 가뭄지수로 사용한 까닭에 각 관측소의 실제 값이 반영되지 못하였다.

식생지수를 이용하여 정량적인 가뭄분석을 위해서는 논경지나 산림지역과 같이 식생분포지역을 대상으로 한 토지피복에 대한 고려가 필요할 것으로 판단되며 중권역이나 대권역으로 대상유역을 한정하여 정확한 식생지수 및 가뭄지수를 산정하는 작업이 필요할 것으로 판단된다. 마지막으로, 토양의 온도상태지수와 토양의 수분함유량, 증발산량 등 가뭄모니터링에 사용할 수 있는 여러 지표들을 고려한다면 가뭄의 거동을 보다 효과적으로 파악할 수 있으리라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 공공기술연구회의 일반연구사업(사업명 : 위성자료 공공활용 연구 - 위성영상을 이용한 하천정보 생산 및 활용에 관한 연구)의 연구비 지원과 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-2-2)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

한국수자원공사 (2002). 가뭄관리 종합대책 수립연구 보고서.
이동률, 김웅태 (2001). 2001년 봄 가뭄의 심도.

한국수자원학회지 34(4): 68-73.
최영진 (1995). 가뭄의 원인과 예측. 한국수자원학회지 28(1): 16-20.
신사철, 김철준 (2003) 우리나라에서의 가뭄 발생 지역 판별을 위한 식생지수(NDVI)의 적용성에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, 36(5): 839-849.
김철준 (2003) 식생지수를 이용한 가뭄발생 위험도 감시. 안동대학교 대학원 석사학위논문.
유재희 (2000) 가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교연구. 고려대학교 대학원 석사학위논문.
유재희, 윤용남, 이동률, 안재현 (2001). 가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교 연구. 2001년도 한국수자원학회 학술발표회 논문집. 122-127.
Kogan, F. N. (1995). Drought of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar orbiting satellite data, Bulletin of the American Meteorological Society. 76: 655-668.
Kogan, F. (1997). Global drought watch from space, Bulletin of the American Meteorological Society. 78: 621-636.
Lei Ji, Albert J. Peters. Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices, Remote Sensing of Environment. 87:85-98.
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. US Department of Commerce, weather bureau research paper. No. 45, Washington DC.
Wilhite, D. A., and M. H. Glantz. (1985). Understanding the Drought Phenomenon :The Role of Definition, Water international, 10: 111-120.