

인공위성 영상 정보를 이용한 가뭄상황 및 징후분석

Analysis of Drought Detection and Propagation Using Satellite Data

신 사 철* / 어 민 선**

Shin, Sha Chul / Eoh, Min Sun

Abstract

Drought is one of the major environmental disasters. Weather data, particularly rainfall, are currently the primary source of information widely used for drought monitoring. However, weather data are often from a very sparse meteorological network. Therefore, data obtained from the Advanced Very High Resolution Radiometer(AVHRR) sensor boarded on the NOAA polar-orbiting satellites have been studied as a tool for drought monitoring. The normalized difference vegetation index(NDVI) and vegetation condition index(VCI) were used in this study. Also, a simple method to detect drought is proposed based on climatic water balance using NOAA/AVHRR data. The results clearly show that temporal and spatial characteristics of drought in Korea can be detected and mapped by the moisture index.

Key Words : Drought, NOAA/AVHRR, VCI, Climatic Water Balance

요 지

가뭄은 주요 자연 재해 중의 하나이다. 가뭄 파악을 위하여 주로 강우량과 같은 기상자료를 주요 입력 자료로 활용하여 분석하고 있으나, 이러한 기상 자료는 한정된 기상 관측소로부터 얻어진 점자료에 해당된다. 따라서, 위성을 이용한 원격탐사 자료를 기상자료에서 포착할 수 없는 문제점을 보완하기 위한 자료로 활용할 수 있다는 확신 하에 본 연구를 진행하게 되었다. 본 연구에서는 NOAA 위성에 탑재되어 있는 AVHRR 센서로부터 얻어지는 자료를 이용하여 가뭄파악을 위한 분석을 실시하였다. NOAA/AVHRR로부터 얻어진 식생지수(NDVI)와 이로부터 얻을 수 있는 식생상태지수(VCI)를 이용하여 가뭄분석을 실시하였으며, 또한 광역적인 가뭄분석을 위해 위성자료를 이용하여 기후학적 물수지에 근거하는 간편한 방법을 제안하고 있다. 본 연구를 통하여 가뭄에 대한 시간적, 공간적 특성을 파악하는데 위성자료가 유용하게 이용될 수 있음을 알 수 있었으며, 습윤지표를 통하여 가뭄 지역도 작성이 가능함을 보여주고 있다.

핵심용어 : 가뭄, NOAA/AVHRR, VCI(식생상태지수), 기후학적 물수지

1. 서 론

최근 들어 우리 나라는 심각한 가뭄으로 인해 막대한 재산피해와 정신적 고통을 겪은 바 있다. 1994년, 1995년의 가뭄과 2000년에 이어 2001년에는 가뭄으로 인해 극심한 피해를 겪었다. 미국의 국립해양대기청(NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration)의 통계에 의하면 20세기의 가장 큰 기상재해의 하나로 가뭄을 꼽고 있다. 가뭄의 피해는 흔히 홍수의 경우와 비교되며, 홍수의 피해가 더 극적이며 단시

간에 이루어지는 특성 때문에 더 관심을 끄는 것이 현실이다. 그러나 광범위한 지역과 장기간에 걸쳐 발생하는 가뭄은 대규모의 범국민적 고통을 초래하며 초목을 고사시켜 대지가 노출되고 나면 그 여파로 연쇄반응까지 나타난다. 2001년의 한반도에 잦은 황사, 기록적 봄철 고온, 봄 가뭄 등도 2000년 중국에서 발생한 가뭄의 연쇄반응으로 보인다. 이런 연쇄반응의 크기는 계산하기 어려우며, 가뭄의 실질적 피해는 홍수보다 더 크다고 보아야 할 것이다. 이상에서 본 바와 같이 가뭄은 인류가 직면한 가장 큰 기상재해이며 해결하여야 할

* 안동대학교 토목공학과 부교수(scshin@andong.co.kr)

** 정회원 · 국립방재연구소 선임연구원

큰 속제 중의 하나이다. 따라서, 세계 각국이 다투어 대응사업을 벌이는 추세이다.

가뭄현상을 사전에 탐지하는 것을 시작으로 가뭄 발생 시 취하여야 할 적절한 대응까지를 포함하는 종합적인 가뭄관리 체계를 구축하기 위해서는 위기관리(crisis management)와 위험관리(risk management)를 포함하는 포괄적인 관리시스템이 요구된다(김성준, 2003). 지금까지 우리 나라의 경우 가뭄에 대한 대응은 위기관리측면에서 가뭄이 발생되면 이에 대한 대응수준에 불과하였다고 말할 수 있다. 그러나 최근 우리 나라에서도 가뭄관리시스템을 개발하는 연구가 진행 중에 있으며, 이는 가뭄관련 정부기관들이 가뭄을 준비해야 한다는 필요성을 인식하고 있다는 것을 말한다. 이러한 시점에서 가뭄에 대한 적절한 완화대응조치를 채택하여 가뭄을 대비하고, 가뭄에 대응할 수 있는 위험관리 측면이 강조될 필요가 있다.

궁극적으로 가뭄에 대한 대비책은 아직 발생하지 않은 미래의 가뭄을 예상하여 수립하는 것이기 때문에 실수나 오류가 있을 수 있으며 이러한 것을 최소화하기 위해서는 정기적이고, 시간적·공간적으로 특성이 동일한 자료를 이용하여 객관적인 판단에 의한 것이어야 한다. 인공위성 자료를 이용한 가뭄현상의 파악은 시·공간적으로 변화가 많은 지역에 대하여 동일한 정확도로 지상 자료의 획득이 가능하다는 측면에서 객관적 판단을 가능하게 하고 있다.

본 연구는 가뭄의 실시간 감시를 위하여 원격탐사의 활용이 대단히 유용하다는 것을 보여주고 있으며, 비록 가뭄현상이 복잡하게 나타난다 하더라도 NDVI는 지표면의 건습을 파악하는 중요한 정보를 제공하고 있음을 알 수 있다. 이러한 원격탐사 자료의 많은 장점을 이용한 적용성을 검토하고 유용성을 파악하여 우리 나라에서 가뭄의 조기 경보를 위한 효과적인 도구로서 이용될 수 있음을 제시하고자 한다.

2. 식생지수(NDVI)와 식생상태지수(VCI)

인공위성자료를 이용하여 어떠한 물리량을 추출하고자 할 때 가장 먼저 생각하여야 할 것은 어떠한 위성을 이용할 것인가를 결정하는 것이다. 이것을 결정하기 위해서는 위성의 해상도를 고려하여 결정하게 되며, 우리 나라 전역의 가뭄현상을 파악한다든지 하는 시계열 자료로서의 출력이 요구되는 경우 시간해상도가 가장 결정적인 역할을 담당하게 된다. 현 시점에서 시계열 자료가 필요한 경우 촬영일수가 짧은 NOAA/AVHRR자료를 이용하는 것이 최선의 선택이 될 것이다.

또한 인공위성 원격탐사 자료는 물리, 생물 또는 사회과학을 수행하는데 필요한 모든 정보를 제공할 수 있는 만능은 아니며, 단순히 관심 대상 지역에서 반사 혹은 방출되는 전자기에너지를 수동적으로 기록하여 공간적, 분광적 및 시간적 정보로 제공해 줄뿐이다. 일반적으로 인공위성으로부터 가뭄현상을 직접 파악할 수 있는 정보는 제공받을 수 없다. 따라서, 간접적으로 가뭄을 판단할 수 있는 정보를 위성자료로부터 추출하여야 하며 현시점에서 인공위성 자료를 이용한 가뭄파악의 시점은 식생판독으로부터 출발하는 것이 일반적이다. 어느 지역에 가뭄이 발생하면 어떠한 형태로든 그 지역의 식생상태에 영향을 주게 된다. 가장 일반적인 현상은 가뭄이 발생하여 식생이 물부족에 의한 스트레스를 받게 되면 식생의 활성도는 저하하게 되며, 그 지점의 지표면 온도는 상승하게 된다. 따라서, 가뭄현상을 인공위성으로부터 규명하고자 하는 첫걸음은 그 지역의 식생의 상태를 판단하는 것이다.

2.1 식생지수(NDVI)

식생상황을 위성자료로부터 파악하기 위한 지표로서 NDVI(정규화 식생지수: Normalized Difference Vegetation Index)가 가장 널리 사용되고 있다. 식물의 잎은 태양으로부터 직접 전달되거나 또는 하늘의 산란광으로부터 간접적으로 입사되는 복사에너지를 차단 흡수한다. 입사된 전자기에너지는 잎속의 색소, 수분, 그리고 분자간의 공극과 상호반응을 하게 된다. 잎에 투사된 에너지는 반사, 흡수 및 투과되어 에너지평형식을 적용하거나 입사된 에너지의 변동과정을 세밀히 추적한다면 이 세 부분으로 나누어지는 복사에너지량을 정확히 측정할 수 있다.

1960년대이래 원격탐사 자료로부터 식물의 생물리학적 특성을 나타내는 다양한 인자들을 밝혀내고자 노력해 왔으며, 이러한 노력의 대부분은 식생지수의 개발로 이어져왔다. 식생지수는 단위가 없는 복사값으로서 녹색식물의 상대적 분포량과 활동성, 엽면적지수, 엽록소함량, 엽량 및 광합성 흡수복사량 등과 관련된 지표로 사용된다. 가장 널리 사용되는 식생지수는 정규화 식생지수(NDVI)이며, NDVI는 위성자료의 적색광과 근적외선 영역의 산술연산에 의해 다음 식으로 계산되어진다(예를들어, Justice 등, 1985; Tucker 등, 1985a, 1985b; Townshend와 Justice, 1986; Prince와 Astle, 1986; Benedetti 등, 1994).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

여기서, NIR은 근적외밴드의 분광반사이며, Red는 적밴드의 분사반사도이다.

이러한 NDVI가 식생조사에 널리 사용되고 있는 이유는 식물 고유의 분광반사 특성 때문으로 식물의 잎에 함유되어 있는 클로로필은 0.45 μ m~0.67 μ m의 파장대를 강하게 흡수한다. 그 결과 가시영역의 적밴드에서의 반사율은 낮아지게 된다. 또한 0.74 μ m~1.3 μ m의 근적외영역에서의 강한 반사특성을 갖는다. 이와같은 적밴드에서의 강한 흡수와 근적외밴드에서의 강한 반사를 갖는 특수성에 의해 가시·근적외영역이 식생조사에 이용되고 있다. 따라서, 식생영역에 있어서는 NDVI가 높게 되며, 구름·물·눈에 대해서는 근적외영역에 비하여 가시영역의 파장이 강하게 반사하여 NDVI는 부(-)값을 갖게 된다. 암반 및 나지면에 대해서는 양파장의 반사율이 거의 같아지게 되어 그 결과 0에 가까운 값을 갖게 된다.

광역면에 있어서의 개략적인 식생상태를 파악하기 위해서는 NOAA 위성에 탑재되어 있는 AVHRR 센서가 유효하다. NOAA/AVHRR 자료를 이용하면 NDVI는 다음 식에 의해 계산된다.

$$NDVI = \frac{Ch.2 - Ch.1}{Ch.2 + Ch.1}$$

여기서, Ch.1 은 channel 1(가시)의 반사율이며, Ch.2 는 channel 2(근적외)의 반사율이다.

2.2 식생상태지수(VCI)

Kogan(1995)은 가뭄의 평가를 위하여 식생상태지수(Vegetation Condition Index, VCI)를 제안하였으며, 이는 인공위성으로부터 측정된 근적외선과 가시영역의 반사도로부터 산출되는 NDVI를 이용하여 얻을 수 있다. 많은 이론적 혹은 경험적 연구로부터 NDVI가 식생의 순일차생산량(NPP) 및 작물의 수확량 추정뿐 아니라 토지피복, 강우감시, 가뭄 감시 및 mapping에 효과적으로 이용될 수 있다는 것을 보고하고 있다(Tucker and Choudhury, 1987).

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 생태학적 변화로부터 검출되는 NDVI의 변화로부터 추정된 기후의 변화는 다양한 기상 조건을 반영한다고 볼 수 있다.

그러나, NDVI의 변화는 인위적 혹은 자연적인 식생 조건의 변화에 따른 영향과 기상요소의 변화에 따른 영향으로 나누어 생각할 수 있다. 예를 들어 열대우림 지역에서의 높은 NDVI는 우거진 열대림에 의한 것이며 사막지역에서의 낮은 NDVI와는 기후영향이 아닌 지역적, 지형적 차이로부터 발생한다는 것을 알 수 있다. 반면에 동일지역에서, 즉 지역 및 지형의 변화가 발생되지 않는 지역에서 NDVI의 변화가 발생되었다면 기상요소의 영향에 의한 것으로 생각할 수 있다. 따라서, Kogan(1995)은 이러한 식생에 영향을 주는 기상요소의 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 토양 속의 영양분 흡수를 촉진시켜 생태 자원의 활력도를 증진시킨다. 반면에, 식생의 양이 최소일 때는 생태자원의 활력을 저하시키고 식생의 성장을 직접적으로 억제하는 가장 최악의 기상조건(예, 가뭄 시의 물 부족)에서 나타날 것이다.

NDVI의 최대치와 최소치를 계산하여 식생상태지수 VCI는 다음 식에 의해 얻어진다.

$$VCI = 100 \times \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})}$$

여기서, $NDVI$, $NDVI_{max}$ 및 $NDVI_{min}$ 는 연 NDVI(iNDVI)로 산정된 최대 및 최소 NDVI이다.

VCI는 NDVI에서 특히 기후변동과 관계하며, 0에서 100까지 변화한다. 즉, VCI가 0에 가까울수록 식생의 활력에 문제가 발생하고 있음을 나타낸다. VCI는 토지 피복 및 식생의 시·공간적 변화뿐만 아니라 식생에 미치는 기상의 영향을 정량화하기 위하여 사용될 수 있다. 또한 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.

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

3. 적용 및 고찰

‘광역적 가뭄 파악을 위하여 인공위성 자료를 활용하는’ 방안은 크게 인공위성 자료만을 이용하는 방법과 기후학적 물수지를 이용하는 방법이 있다. 인공위성 자료만을 이용하는 방법은 주로 가뭄으로 인하여 식생의 활성도 저하와 지표면 온도의 상승으로 이어지는 현상을 인공위성으로부터 포착하여 가뭄현상을 파악하는 것이다. 그러나 이 경우 인공위성 자료만으로 분석이 가능하다는 장점은 있으나, 모든 것을 인공위성 자료에 의존하여야 하므로 보다 정확하고 주기적인 위성자료가 확보되어야 한다.

반면에, 기후학적 물수지를 이용하는 방법은 위성자료와 기상 및 강우 자료를 조합하여 가뭄분석을 실시하며, 지상의 관측자료가 필요하다는 단점을 갖지만, 인공위성 자료에서 파악할 수 없는 현상을 직접 기상 및 수문자료에 취득할 수 있으므로 정확성을 기할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 이상과 같은 두 가지 방법에 의한 가뭄분석을 실시하고 그에 따른 적용성을 검토한다.

3.1 식생상태지수를 이용한 가뭄분석

가뭄 분석을 위해서는 긴 시간에 걸쳐 변화하는 생태학적인 변화로부터 짧은 시간에 기상의 변화에 관계하는 NDVI 변화량을 분리하는 것이다. 즉, NDVI의 변화가 발생하였다면 그것이 식물 생태학적인 변화로 인한 것인지 혹은 가뭄 등의 기상조건에 기인한 것인지를 판별하는 것이다. 이러한 판별을 위하여 식생상태지수 VCI를 이용하며, 각 화소별로 6개년에 걸친 NDVI의 최대값과 최소값을 산정하고 해당기간 동안의 NDVI와 상대적인 비교를 실시하여 NDVI 중에서 기상과 관련된 성분을 추출하였다.

그림 1에 1997년부터 2002년까지의 VCI를 나타내었으며 검정색에 가까울수록 VCI가 낮아지는 것을 의미한다. 즉, VCI를 통하여 기상요소에 의한 식생의 스트레스 여부를 판별할 수 있으며, VCI가 낮을수록 식생의 스트레스가 심하다는 것을 나타낸다. 따라서, 그림 1로부터 1998년, 1999년 및 2002년에는 식생의 스트레스가 거의 발생되지 않았음을 알 수 있으며, 1997년과 2000년에는 지역적으로 식생의 스트레스 지역이 검출

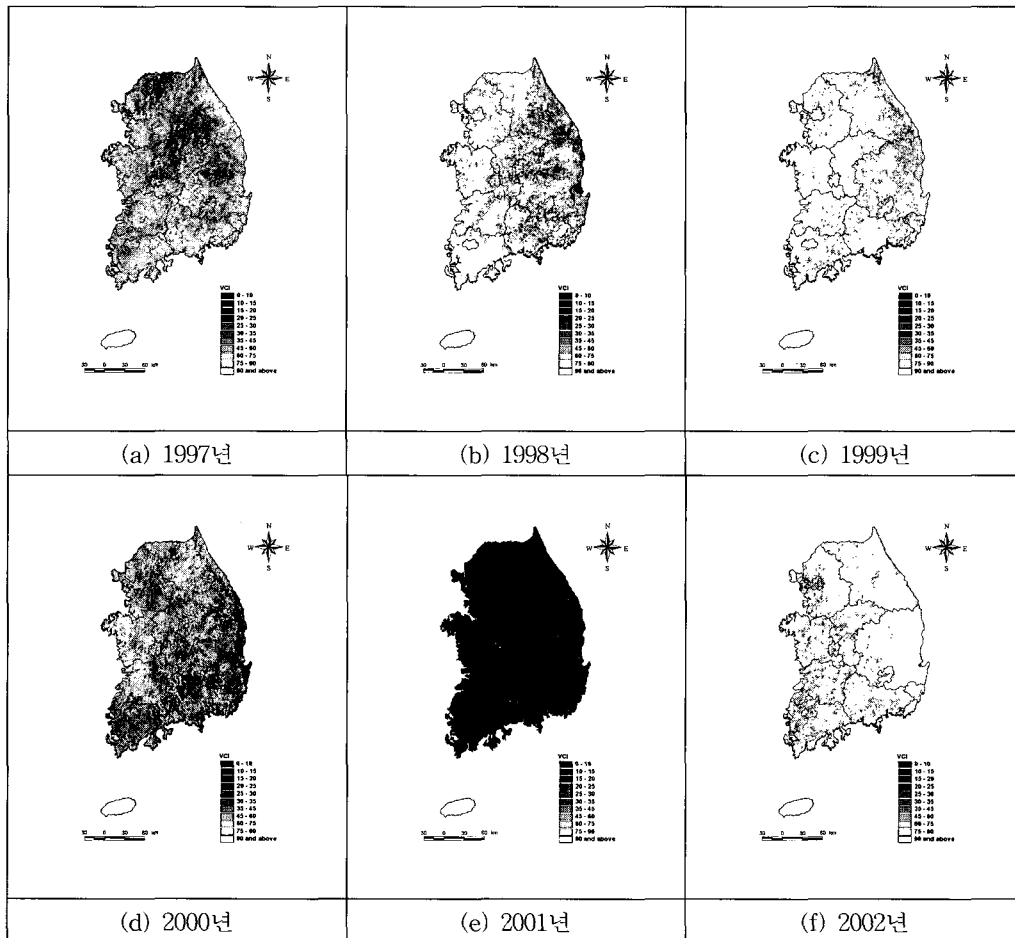


그림 1. 연도별 식생상태지수(VCI)의 분포

되고 있다. 또한, 가장 극심한 가뭄을 겪었던 2001년의 경우에는 전국적으로 VCI는 매우 낮은 값을 보이며 식생은 상당한 스트레스를 받았던 것으로 나타났다.

1997년과 2000년의 VCI를 지역적으로 보면 1997년의 경우 대체적으로 VCI는 50~60 정도의 값을 나타내고 있으나 충청북도에서는 평균적으로 약 40 정도를 나타내고 있어 지역적으로 약간의 식생 스트레스를 받은 것으로 나타났다. 또한 2000년의 경우 전반적으로 VCI는 50정도를 나타내고 있어 중간 정도의 값을 보이고 있으나, 경상남북도와 전라남도 지방에서는 40이하를 나타내는 지역도 나타나고 있다. 이러한 VCI를 통하여 1997년과 2000년에는 지역적으로 가뭄피해가 발생하였다는 것을 알 수 있으며, 2001년에는 전국적인 가뭄현상이 발생하였다는 것을 간접적으로 파악할 수 있다.

VCI가 식생 활성도 중에서 기상요소에 관련된 부분을 표시할 수 있다는 점과 VCI와 강우상황과 매우 높은 상관성이 있는 점으로부터 VCI는 가뭄 파악의 중요

한 지표로 이용될 수 있다. 따라서, VCI가 50 이상인 경우 식생상태는 중간(medium)상태로부터 매우 좋은 식생 상태를 나타내며, 50 이하인 경우 식생은 스트레스를 받는 것으로 볼 수 있다. 그러나 식생상태의 변화에는 기상요소 이외에 식생 그 자체의 생육에 관한 문제도 포함되며, 위성 자료의 하나의 화소에 포함되는 식생 상태도 약간씩은 변화될 수 있으므로 실제로 물 부족이 기인하는 식생 스트레스를 VCI로부터 추출한다는 것은 매우 어려운 일이다.

Kogan(1995)은 가뭄 분석을 위한 VCI의 범위를 결정하기 위하여 농작물 생산성과의 상관관계를 분석하였으며, 그 결과, VCI 값이 0에서 35사이의 값으로 나타날 경우 가뭄에 의해 농작물의 생산성이 20% 감소하는 것으로 보고하고 있다. 따라서, VCI로부터 가뭄을 판별하기 위한 기준으로서 35이하를 추천하고 있다. 따라서 본 연구에서도 VCI 값 35를 기준으로 그 이하를 가뭄 위험 지역으로 판별하였으며, 이로부터 연도별 가뭄 위험지역은 그림 2와 같이 표시된다.

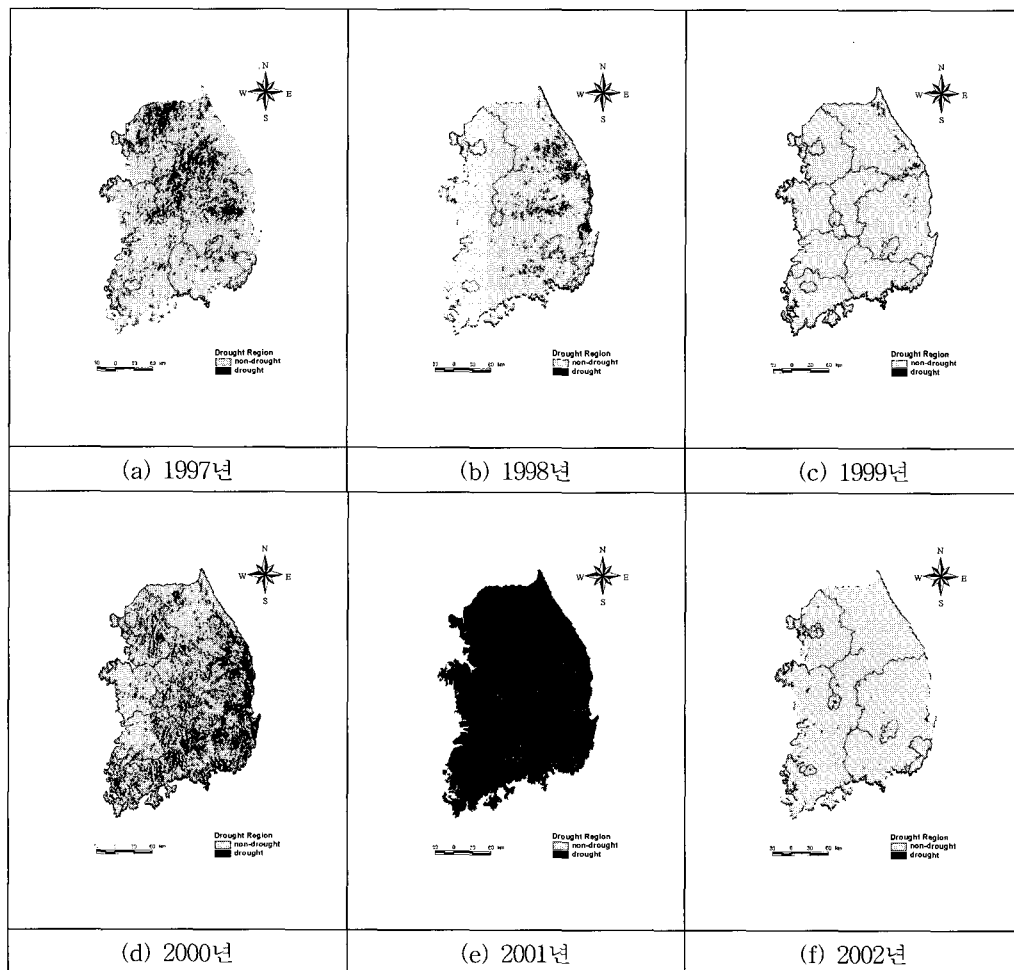


그림 2. VCI를 이용한 연도별 가뭄 위험 지역 판별

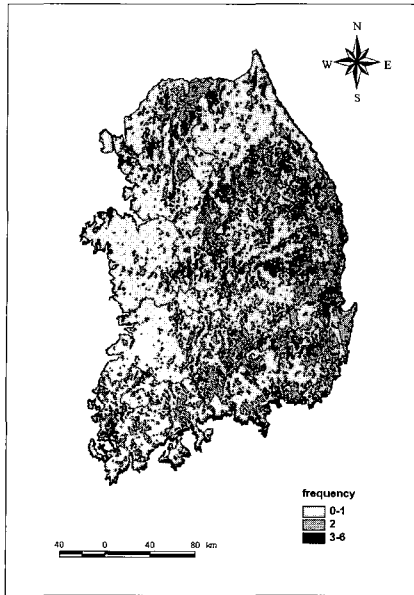


그림 3. 가뭄 발생 횟수별 분포도(1997-2002)

그러나, Kogan에 의한 기준(VCI<35)은 대단히 임의적이며, 더욱이 Kogan의 연구는 대규모 농경지가 존재하는 지역에서 이루어진 것이며, 농경지의 규모가 크지 않은 우리나라의 경우 VCI의 기준은 더욱 완화될 수 있을 것으로 보여진다. 물론 이러한 특성을 정확히 정량적으로 제시하기 위해서는 우리나라의 특성에 맞는 현상의 분석이 있어야 할 것이나, 현재의 시점에서 이용 가능한 자료의 한계성을 느끼지 않을 수 없었다. 따라서, 본 연구에서는 우리나라에서의 현상 파악은 추후의 연구로 하고, Kogan이 제시하고 있는 기준에 의해 가뭄년과 비가뭄년을 판별하고 가뭄년의 경우 그 분포를 결정하기로 한다.

2001년은 거의 우리나라 전역이 가뭄 지역에 속하며, 1997년과 2000년에는 지역적으로 가뭄 지역이 검출되었다. 1997년의 경우 충청북도와 강원도 지역에서 가뭄 지역이 많이 검출되었으며, 부분적으로 경상북도 지역도 가뭄 지역으로 검출되었다. 2000년의 경우에는 경상남북도 지역에서 비교적 폭 넓게 가뭄 지역이 검출되고 있다. 1998년도에도 경상북도와 강원도의 일부 지역에서 가뭄 지역이 검출되고 있으나 그다지 가뭄이 확산되지 않았음을 알 수 있다.

또한, 각 화소별로 6개년에 걸쳐 가뭄 위험지역으로 판별된 횟수를 조사하여 그림으로 표시하면 그림 3과 같다. 검정색에 가까울수록 가뭄 횟수가 많음을 나타내며, 3회 이상 발생 지역이 경상북도와 강원도에서 비교적 많이 검출되고 있음을 알 수 있다. 2001년도에 전국적인 가뭄이 있었으므로 1997년부터 2002년 사이에

우리 나라 대부분의 지역에서 1회 이상의 가뭄이 발생한 것으로 나타났으며, 우리나라 전지역의 약 31% 지역에서 1997년부터 2002년 사이에 2회 이상의 가뭄이 발생한 것으로 나타났다. 또한, 3회 이상 발생한 지역으로는 경상북도가 33.1%로 가장 많으며, 강원도가 20%를 차지하고 있다. 결국, 경상북도와 강원도 지역에서 3회 이상 가뭄 발생 지역의 50% 이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

3.2 기후학적 물수지법에 의한 가뭄분석

기후학적 물수지법은 기후 구분을 위하여 Thornthwaite에 의해 개발된 이래 다양한 수문학적 정보의 정량적인 정보를 얻는 방법의 하나로서 응용되어 왔다 (Legates와 Mather, 1992). 물의 공급(강수)과 기후학적 물수요(증발산량)와의 비교에 의해 복잡한 조건하에서의 지표면 건습 등의 정보가 파악 가능하다. 여기서 부족수분량은 기후학적 물수요와 실제의 공급량과의 차이로 정의된다. 또한 과잉수분량은 식물에 의한 수요량 이상의 수분량으로 정의된다. 부족수분량은 식물의 성장을 유지하기 위하여 관개 등에 의하여 공급되어야 할 양이다. 또한 과잉수분량은 지하에 침투하는 양과 하천수에 의해 손실되는 수분이다. 과잉수분량은 표면류와 중간류에 의한 유출량을 포함하고 있다. 이와같은 기후학적 물수지로부터 과잉수분량과 부족수분량을 구하여 이들을 이용한 지표를 이용함으로써 가뭄지역 판별 및 필요수량 등의 정보를 얻을 수 있다. 상기의 식생상태지수(VCI)를 이용한 가뭄분석이 연단위를 기반으로 비교적 장기적으로 가뭄에 취약한 지역을 검출하는 방법으로 이용될 수 있는 반면에 기후학적 물수지법을 이용한 방법은 강우사상 및 토양의 습윤 조건을 판별하여 가뭄발생시의 가뭄감시 및 가뭄정후 파악에 중점을 둔 분석이 가능하다. 따라서, 기후학적 물수지법에 의한 가뭄분석을 위하여 2001년 가뭄상황에 대한 분석을 실시하였다.

2001년 3월부터 6월 중순까지 전국적으로 기상 관측 이래 최악의 봄가뭄이 계속되면서 기상 재앙이라는 말까지 나올 정도의 극심한 가뭄으로 커다란 사회경제적 파장을 일으켰다. 2001년 3월부터 5월까지의 봄철 강수량 특징을 기상청의 자료를 인용하여 요약해 보면, 우리나라의 강수량은 전국적으로 24.9mm(충주)~377.6mm(서귀포)의 분포로 예년 강수량의 12~74% 수준을 보였다. 6월 10일 기상청 자료에 따르면 3월부터 전국의 평균 강수량은 약 228mm로서 예년의 60% 수준에 머물렀던 것으로 나타났다. 서울·경기도, 충청도 및 영남북부 지역에서는 예년 강수량의 20~30%

정도로 매우 건조한 상태를 보였고, 중부지방에서는 강수량이 25~60mm 분포로 예년보다 약 160mm 정도 적게 내렸다. 2001년 봄철 강수량을 과거 봄철 강수기록과 비교해 보면, 기상청 73개 관측지점에 대하여 48개 지점에서 관측이래 가장 적은 강수량을 기록하였으며, 9개 지점에서 관측이래 두 번째로 적은 강수량을 기록하였고, 관측이래 세 번째를 보인 곳은 6개 지점이었다.

임의 월의 증발산량이 강우량을 초과할 경우 과잉수분량은 존재하지 않으며, 수분의 부족을 초래한다. 또한 임의 월의 토양수분이 토양수분 보유능보다 작을 경우 과잉수분량은 존재하지 않으며, 수요량과의 차이만큼 부족 수분량이 발생한다. 반면에 강우량이 증발산량을 초과할 경우 증발산량과 강우량의 차에 상당하는 과잉수분량이 존재하게 되며, 기후학적인 물부족은 발생되지 않는다. 또한 임의 월의 토양수분이 보유능보다 크거나 같을 경우 그 잉여수분은 과잉수분량으로 나타나고 부족수분량은 발생되지 않는다.

【 $Sm_i < Wc$ 의 경우 】

$$S_i = 0$$

$$dSm = WC - Sm_i$$

$$D_i = (E_i + dSm) - P_i$$

【 $Sm_i \geq Wc$ 의 경우 】

$$S_i = P_i - (E_i + dSm)$$

$$D_i = 0$$

여기서, S_i 는 임의 월의 과잉수분량(mm/month), D_i 는 부족수분량(mm/month), P_i 는 강우량(mm/month), E_i 는 실제증발산량(mm/month), Sm_i 는 임의 월의 토양수분(mm/month)이며 Sm_{i-1} 은 그 이전 월의 토양수분(mm/month)이다.

이상에서 구한 과잉수분량과 부족수분량을 이용하여 수문기상학적 가뭄 파악을 위하여 Shahin(1985)이 미국의 빅토리아호 유역의 수문기상학적 조사를 위하여 사용한 다음과 같은 습윤지표를 이용하였다.

$$Im_i = \frac{100(S_i - 0.6D_i)}{PE_i}$$

여기서, Im_i 는 i 월의 습윤지표이며, S_i 는 i 월의 과잉수분량, D_i 는 i 월의 부족수분량, PE_i 는 잠재증발산량(mm/month)이다.

이 습윤지표는 부족수분량이 발생하는 경우 부(-)의 값을 갖게 되며 기후상태는 건조상태를 표시하고 가뭄과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단할 수 있다. 가뭄에 대한 정확한 지표(indicator)를 설정할 수는 없으나 Shahin은 습윤지표가 -40 이하인 경우 건조지역으로 구분하고 있다. 따라서, 현재의 시점에서 활용할 수 있는 기준을 설정하여 가뭄을 모니터링할 수 있는 체계를 구축하는 것을 목표로 하여 습윤지표가 -40 이하인 경우 가뭄으로 판단하기로 하며, 가뭄에 대한 현상파악에 주목적을 두기로 한다.

이와같은 과정을 통하여 우리나라 전역에 대한 2001년 3월부터 11월까지의 습윤지표를 산정하였으며, 그 중 3월부터 10월까지의 습윤지표를 그림 4에 나타내었다. 2001년 3월부터 5월까지 3개월 동안 지속적으로 습윤지표가 -40 이하를 보이는 지역은 경상북도, 경기도 및 충청남도 지역이며, 그 지역에 위치하고 있는 광역시에서 낮은 습윤지표를 보이고 있다. 3월에 물부족 현상을 겪었던 경상남도도는 4월이 되어 어느 정도 가뭄이 해소되었으며, 경상북도도는 여전히 가뭄을 겪고 있다. 또한 경기도 지역에서는 3월부터 꾸준히 가뭄을 겪어 오다 5월이 되면서 큰폭으로 습윤지표가 저하하고 있어 가뭄이 심화된 것으로 나타나고 있으며, 전라남도 및 전라북도도는 4월까지 가뭄의 영향이 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 5월에는 경기도, 강원도, 경상북도 및 충청북도 지역에서 심화되었으며, 충청남도 및 전라남도 지역에서도 가뭄 지역이 나타나고 있다. 반면에 2001년 봄가뭄이 지속되었던 3월부터 5월까지 가뭄에 큰 영향을 받지 않은 지역은 경상남도도와 전라북도 지역이며, 제주도 지역은 3월에 약간의 가뭄이 있었으나 4월 이후에는 가뭄이 해소되어 오히려 많은 양의 물의 공급이 있는 것으로 나타났다.

행정구역별로 보면, 3월에는 경상남·북도와 그 지역에 위치한 광역시 및 제주도 지역에서 가뭄이 감지되고 있으며, 4월에는 경상남도 지역은 어느 정도 가뭄이 해소되었으며, 경기도 지역에서 가뭄이 심화되고 있다. 5월에는 경상남도도와 전라북도 및 제주도를 제외한 지역에서 많은 가뭄 지역이 발생되고 있으며, 6월에는 모든 지역에서 가뭄이 해소되어 습윤지표는 양(+)의 값을 나타내고 있다. 7월과 8월에도 충분한 물의 공급이 이루어져 습윤지표는 양의 값을 나타내고 있으며, 8월에 경상북도에서 약간의 부(-)값이 나타나고 있으나 가뭄현상으로 보기에 어려운 정도이다. 9월에는 경기도 및 충청남·북도 지역에서 지역적으로 가뭄 현상이 나타나고 있으나 10월에는 모두가 해소되었음을 알 수 있다.

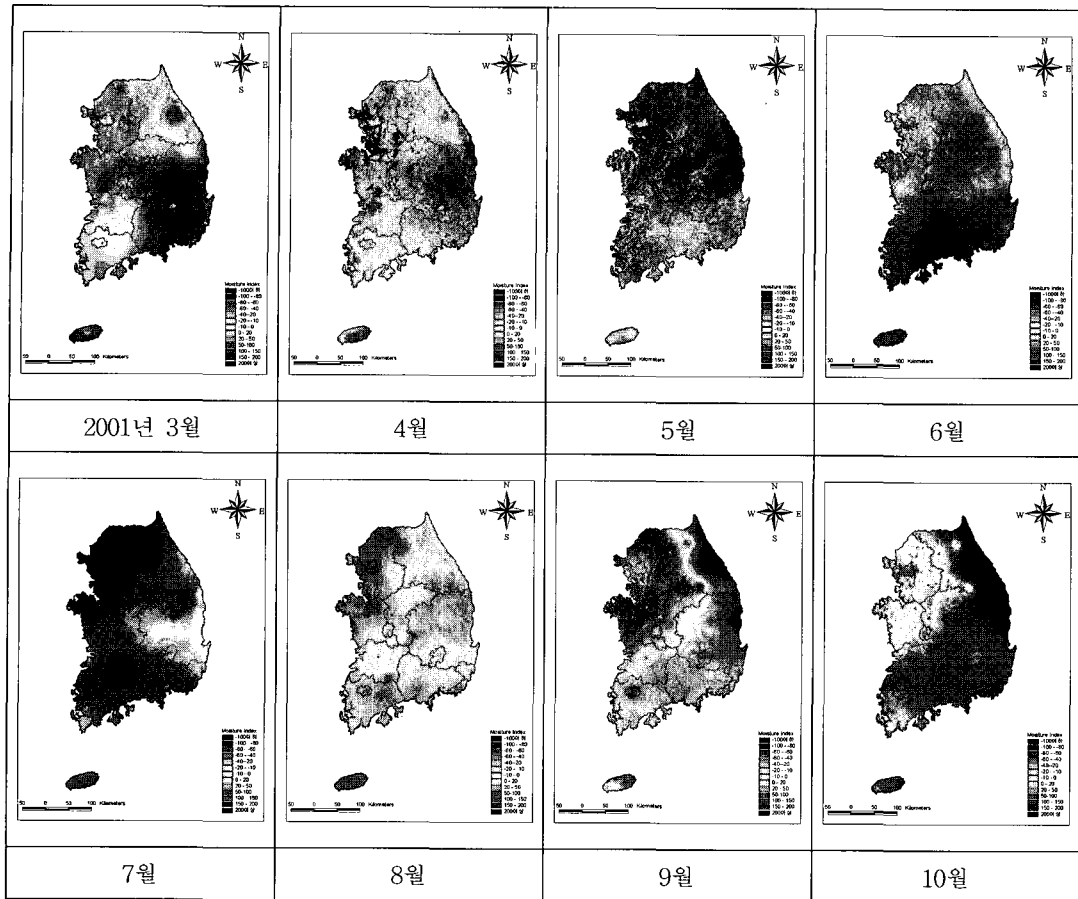


그림 4. 우리나라의 습윤지표 분포

4. 결 론

본 연구는 우리나라 전역에 걸쳐 가뭄 지역의 파악을 위하여 인공위성 자료라는 객관적 자료에 의한 분석을 실시하였다. 본 연구에서는 가뭄평가의 방법으로 기존의 연구에서 다루어온 가뭄지수를 이용한 가뭄정도 파악의 기상학적 접근이 아닌 인공위성에 의해 획득되는 식생정보를 이용하여 간접적으로 가뭄을 평가하는 기법을 이용하였다. 기존에 가뭄지수로 대별되는 광역 가뭄분석에서는 지점별로 평가된 가뭄지수를 통계적 기법 등에 의해 공간적으로 분포시키는 과정을 취함으로써 지표면 특성을 적절하게 반영시킬 수 없는 한계점을 갖고 있었다. 그러나 인공위성 자료를 이용하는 분석에서는 인공위성 자료 자체가 공간적 자료로 제공되므로 지표면의 특성을 공간적으로 반영할 수 있다는 장점을 갖게 된다.

본 연구에서는 가뭄분석을 위하여 식생지수에 근거하는 두 가지의 접근방법을 시도하였으며, 식생상태지수(VCI)를 이용한 가뭄분석이 연단위를 기반으로 비교적 장기적으로 가뭄에 취약한 지역을 검출하는 방법으로 이용될 수 있는 반면에 기후학적 물수지를 이용한

방법은 강우사상 및 토양의 습윤조건을 판별하여 가뭄 발생시의 가뭄감시 및 가뭄정후 파악에 유용하다는 것을 보이고 있다.

본 연구를 통하여 가뭄에 대한 시간적, 공간적 특성을 파악하는데 위성자료가 유용하게 이용될 수 있음을 알 수 있었으며, VCI를 통하여 가뭄 지역도 작성이 가능함을 보여주고 있다. VCI가 가뭄 분석을 위하여 유용하게 이용될 수 있음이 확인됨으로서 보다 장기간에 걸친 위성자료로부터 분석을 실시한다면 더욱 일반적인 경향을 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서는 유용성 여부를 파악하기 위하여 연단위의 분석을 실시하였으나 회귀일수가 짧은 NOAA 자료의 특성 상 월단위의 분석이 가능할 것으로 생각되며 이는 추후의 연구로 남겨놓는다. 아울러 이러한 연구가 실제적으로 활용되기 위해서는 다양한 검증이 이루어질 수 있도록 발생하는 가뭄에 대한 기록 및 자료 축적이 무엇보다 중요하다.

또한, 이러한 광역적 가뭄분석의 목적은 가뭄의 조기 탐지 및 예측을 목적으로 하는 것으로 지역적인 구체적인 대응 방안 모색 및 농업적 가뭄 혹은 수문학적 가뭄에 대비하기 위해서는 현장 상황을 지속적으로 감

시하고 관리하는 체계가 동시에 구축되어야 한다. 궁극적으로 종합적인 가뭄관리 체계가 구축되기 위해서는 본 연구의 결과인 모니터링과 예측을 바탕으로 하는 위험관리 시스템과 현장 대응을 위한 위기 관리 시스템인 지역적 가뭄관리 체계가 동시에 구축·운영되어야 한다.

참 고 문 헌

김성준(2003) 가뭄을 위한 계획 수립, 농어촌과 환경, 제 78권, pp.87~100.

Benedetti, R., P. Rossini and R. Taddei.(1994) "Vegetation Classification in the Middle Mediterranean Area by Satellite Data." *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 15, pp.583~596.

Justice, C. O., J. R. G. Townshend, B. N. Holben and C. J. Tucker.(1985) "Analysis of the Phenology of Global Vegetation Using Meteorological Satellite Data", *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 8, pp. 1271~1318.

Kogan, F. N.(1995) "Application of Vegetation Index and Brightness Temperature for Drought Detection." *Adv. in Space Res.*, Vol. 15, pp. 91-100.

Legates, D. R. and J. R. Mather.(1992) "An Evaluating of the Average Annual Global Water Balance", *Geographical Review*, Vol. 82, pp.253~267.

Prince, S. D., and W. L. Astle.(1986) "Satellite Remote Sensing of Rangelands in Botswana

Landsat MSS and Herbaceous Vegetation", *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 7, pp.1533~1553.

Shahin, M., *Hydrology of Nile Basin*, Elsevier, 1985.

Thornthwaite, C. W.(1948) "Approach Toward a Rational Classification of Climate", *Geographical Review*, Vol. 38, pp.55~94. (Legates and Mather(1992)에서 인용)

Townshend, J. R. G. and C. O. Justice.(1986) "Analysis of the Dynamic of African Vegetation Using the Normalized Difference Vegetation Index." *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 7, pp.1435~1446.

Tucker, C. J. and B. J. Choudhury.(1987) "Satellite Remote Sensing of Drought Conditions", *Remote Sens. Environ.*, Vol. 23, pp.243~251.

Tucker, C. J., C. L. Vanpreat, M. J. Sharman and G. Van Ittersum.(1985a) "Satellite Remote Sensing of Total Herbaceous Biomass Production in the Senegalese Sahel : 1980-1984", *Remote Sens. Environ.*, Vol. 17, pp.233~249.

Tucker, C. J., J. R. G. Townsend and T. E. Goff.(1985b) "African Land-Cover Classification Using Satellite Data." *Science*, Vol. 227, pp.369~375.

◎ 논문접수일 : 2004년 6월 02일
 ◎ 심사의뢰일 : 2004년 6월 04일
 ◎ 심사완료일 : 2004년 6월 22일