

우리 나라에서의 가뭄 발생 지역 판별을 위한  
식생지수(NDVI)의 적용성에 관한 연구  
Application of Normalized Difference Vegetation Index for Drought  
Detection in Korea

신 사 철\* / 김 철 준\*\*  
Shin, Sha Chul / Kim, Chul Joon

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, incomplete and/or not always available in good time to enable relatively accurate and timely drought detection. Data from remote sensing platforms can be used to complement weather data in drought. Therefore, data obtained from the Advanced Very High Resolution Radiometer(AVHRR) sensor on board the NOAA polar-orbiting satellites have been studied as a tool for drought monitoring. The normalized difference vegetation index(NDVI)-based vegetation condition index(VCI) were used in this study. These indices showed their excellent ability to detect vegetation stress due to drought. The results clearly show that temporal and spatial characteristics of drought in Korea can be detected and mapped by the VCI index.

**Keywords :** Drought, NDVI, VCI, vegetation stress

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, 기상자료를 이용한 분석에서는 시간적 혹은 공간적으로 원하는 자료의 제공이 원활하게 이루어지지 않을 수 있다. 원격탐사 자료는 가뭄분석을 위하여 기상자료에서 포착할 수 없는 이러한 문제점을 보완하기 위한 자료로 활용될 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 NOAA 위성에 탑재되어 있는 AVHRR 센서로부터 얻어지는 자료를 이용하여 가뭄 파악을 위한 분석을 실시하였다. 특히 본 연구에서는 NOAA/AVHRR 로부터 얻어진 식생지수(NDVI)와 이로부터 얻을 수 있는 식생상태지수(VCI)를 이용하여 가뭄 분석을 실시하였으며, 이들 지수는 가뭄으로부터 기인된 식생 스트레스를 파악하는데 유용하게 이용될 수 있음을 알 수 있었다. 본 연구를 통하여 가뭄에 대한 시간적, 공간적 특성을

\* 안동대학교 토목공학과 조교수  
Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering., Andong National University, Kyongbuk 760-749, Korea.  
(E-mail : scshin@andong.ac.kr)

\*\* 안동대학교 대학원 토목환경공학과  
Graduate Student, Dept. of Civil & Environ. Eng., Andong Nat'l University, Kyongbuk 760-749, Korea.

파악하는데 위성자료가 유용하게 이용될 수 있음을 알 수 있었으며, VCI를 통하여 가뭄 지역도 작성이 가능함을 보여주고 있다.

**핵심용어** : 가뭄, 식생지수(NDVI), 식생상태지수(VCI), 식생 스트레스

## 1. 서 론

인간생활에서 강우량의 부족이나 과다는 피할 수 없는 자연현상으로 직·간접적으로 막대한 피해를 주고 있다. 우리 나라에서도 최근 전국적 혹은 지역에 따라 크고 작은 가뭄이 발생하고 있다. 우리 나라의 경우 자연 재해 중 홍수 피해에 대비해 홍수 예·경보시스템 등 여러 가지 연구와 대책을 수립하고 있으나, 가뭄피해에 대한 연구 및 대책은 상대적으로 미비한 실정이다. 또한 2001년에는 전국적인 극심한 가뭄을 경험하였으나, 가뭄의 특성에 대한 연구가 부족한 실정이며 적절한 가뭄의 대책을 수립하기 위해 가뭄의 정도를 객관적으로 나타내는 것이 필요하다.

가뭄은 인간으로서 불가항력적인 자연현상이며, 인류의 역사는 이러한 가뭄을 극복해오면서 발전해왔다. 우리는 가뭄발생을 방지할 수는 없으나 가뭄을 견딜 수 있는 대비책을 확보함으로써 피해를 어느 정도 줄일 수는 있다. 따라서 본 연구는 가뭄에 대비하여 가뭄에 따른 경제적 손실 및 환경요인 등의 변화를 최소화하기 위하여 가뭄현상을 인공위성 자료로부터 파악하고자 하는 의도에서 연구를 진행하게 되었다.

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

기존의 가뭄에 관련된 연구는 가뭄을 정량화하여 지수로 나타내는 가뭄지수를 이용하는 연구가 주를 이루고 있다(예를들어, 류재희 등, 2002; 김상민과 박승우, 1999; 윤용남 등, 1997; 임경진 등, 2001). 이러한 연구들은 주로 가뭄 평가를 위하여 일반적으로 사용되는 가뭄지수인 PDSI(Palmer Drought Severity Index),

SWSI(Surface Water Supply System) 및 SPI(Standardized Precipitation Index) 등을 적용하여 가뭄에 대한 평가를 실시하고 있다.

본 연구는 기존의 연구에서 다루어온 가뭄지수를 이용한 가뭄정도 파악의 기상학적 접근이 아닌, 인공위성에 의해 획득되는 식생정보를 이용하여 간접적으로 가뭄을 평가하는 기법을 적용하고자 한다. 어느 지역의 식생 상태는 가뭄에 의해 물공급이 원활하게 이루어지고 못할 경우 일반적으로 식생은 스트레스를 받게 되어 결과적으로 식생의 활성도가 저하하게 되는 결과를 초래한다. 또한 식생의 활성도는 우리 나라를 상시 관측하고 있는 인공위성을 이용하여 위성자료로부터 쉽게 얻을 수 있는 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index ; NDVI)를 이용함으로써 식생의 활성도를 정량적으로 표현할 수 있다.

우리 나라 전역과 같은 넓은 지역을 대상으로 하는 경우, 더욱이 산림지역으로 이루어진 우리 나라의 경우 기상관측소의 밀도가 충분하지 못하며, 그것도 대부분 도심지역에 위치하고 있어 공간적인 평가를 실시하고자 할 때 많은 문제점을 야기할 수 있을 것이다. 더욱이 복잡한 자연현상과 관계되는 가뭄에 대한 공간적 평가를 하고자 할 때 실수나 오류가 있을 수 있으며, 이러한 실수나 오류를 최소화하기 위해서는 정기적이고, 시간적·공간적으로 특성이 동일한 자료를 이용하여 객관적인 판단에 의한 것이어야 한다. 이러한 견지에서 인공위성 자료를 이용한 가뭄현상의 파악은 시·공간적으로 변화가 많은 지역에 대하여 동일한 정확도로 지상 자료의 획득이 가능하다는 측면에서 객관적 판단을 가능하게 하고 있다.

본 연구에서 접근하고자 하는 알고리즘의 가장 기본적인 이론적 근거는 인위적인 조건 및 지형의 변화가 발생되지 않는 지역에서 NDVI의 변화가 발생했다면 기상요소의 영향에 의한 것으로 생각할 수 있다는 점이다. 따라서, Kogan(1995)과 Unganai와 Kogan(1998)이 제안하고 있는 식생상태지수(Vegetation Condition Index ; VCI)를 이용하여 기상조건에 의한 식생활력의 증가 및 감소에 대한 정보를 정량적으로 파악하고, 식생 활력의 감소는 식생의 성장을 직접적으로

억제하는 가뭄과 관련된 기상조건에서 발생할 수 있다는 조건에서 가뭄 현상을 평가하게 된다.

본 연구의 결과는 가뭄의 실시간 감시를 위하여 원격 탐사의 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 장점들은 가뭄이 되풀이되고 있는 우리나라에서 가뭄의 조기 경보를 위한 효과적인 도구로서 이용될 수 있음을 보여주고 있다.

## 2. 식생지수(NDVI)와 식생상태지수(VCI)

### 2.1 NOAA 위성의 개요

NOAA 위성은 미국 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration ; NOAA)에 의해 운영되고 있는 제 3세대 기상관측위성이다. NOAA 시리즈는 1960년에 NASA(National Aeronautics and Space Administration)에 의해 발사된 실험용 기상위성 TIROS(Television and Infrared Observation Satellite)가 최초이다. 그 후 실용위성으로서 ESSA(Environmental Survey Satellite)가 운용되었다. 미국 기상청에서는 1966년 3월부터 구름화상의 수신을 개시하여 1968년부터 정식으로 예보업무의 일환으로 사용하였다. 1966년에 개량형 실용위성으로서 ITOS(Improved Tiros Operational Satellite) 시리즈가 등장하였다. 2호기 이후는 미국 기상청이 기구개편에 따라 해양대기청으로 개편되면서 NOAA 위성이라 불리게 되었다. 1978년에는 TIROS-N형이 되어 그때부터 AVHRR가 탑재되었다. 일반적으로 NOAA 시리즈는 센서, 궤도 등의 차이에 의해 TIROS를 제 1세대, ITOS를 제 2세대라 하며 현재 가동중인 NOAA 위성을 제 3세대라 부르고 있다.

NOAA 위성에 탑재되어 있는 주요 센서는 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)과 TOVS(TIROS Operational Vertical Sounder)가 있다. AVHRR 센서는 구름의 분포, 지표면의 온도분포 등의 관측을 목적으로 하는 센서이며, TOVS는 대기중의 기온 및 습도의 연직분포를 구하기 위한 다밴드 분광방사계이다. AVHRR의 가시 및 근적외 channel 자료로부터 구해지는 NDVI는 여러분야에서 이용되고 있으며, 본 연구에서 이용하는 자료도 이 AVHRR 센서에 의한 것이다.

### 2.2 식생지수(NDVI와 iNDVI)

원격탐사의 가장 보편적인 응용의 하나는 지상의 식생에 대한 평가 및 감시이다. 식생상황을 위성자료로부터 파악하기 위한 지표로서 NDVI(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 녹색 식물의 상대적 분포량과 활동성, 엽면적지수, 엽록소함량, 엽량 및 광합성 흡수복사량 등과 관련된 지표로 사용된다. 가장 널리 사용되는 식생지수는 정규화 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index ; NDVI)이며, NDVI는 위성자료의 적색광과 근적외선 영역의 산술연산에 의해 다음 식으로 계산되어진다(예를 들어, Justice 등, 1985; Tucker 등, 1985a, 1985b; Townshend와 Justice, 1986; Prince와 Astle, 1986; Benedetti 등, 1994).

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

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 $\mu$ m~0.67 $\mu$ m의 파장대를 강하게 흡수한다. 그 결과 가시영역의 적밴드에서의 반사율은 낮아지게 된다. 또한 0.74 $\mu$ m~1.3 $\mu$ 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. 임반 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.

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

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

또한, 어느 기간 동안의 NDVI의 총량을 정량적으로 표시하기 위해 iNDVI(integrated NDVI)가 이용되어진다(Rasmussen, 1992; Lo Seen Chong 등, 1993).

$$iNDVI = \frac{\sum(NDVI_j \times d_j)}{\sum d_j} \quad (3)$$

여기서,  $NDVI_j$ 는 j번째 NDVI이며,  $d_j$ 는  $NDVI_j$ 에 대응하는 관측일수이다.

본래 iNDVI는 시간간격이 결정되지 않은 상태에서 작성된 NDVI의 적분을 위하여 사용하여 일정기간동안의 NDVI의 총량에 대한 정보를 얻고자 이용되어 왔으나, 본 연구에서는 시간간격을 월단위로 결정하여 iNDVI를 산정함으로써 결국은 NDVI의 평균치에 대응하는 값을 얻게 된다.

### 2.3 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 만 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 간

접적으로 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 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 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 물부족)에서 나타날 것이다.

NDVI의 최대치와 최소치를 계산하여 식생상태지수 VCI는 다음 식에 의해 얻어진다.

$$VCI = 100 \times \frac{(NDVI - NDVI_{\min})}{(NDVI_{\max} - NDVI_{\min})} \quad (4)$$

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 변화뿐 만 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

#### 3.1 NDVI, iNDVI 및 VCI 자료의 작성

가뭄 분석을 위한 첫 번째 중요한 단계는 정확한 NDVI 자료를 생성하는 것이다. 본 연구에서 사용한 위성자료는 1997~2002년까지 6 개년에 걸친 NOAA/AVHRR 자료를 이용하였으며, 적설의 영향으로 지표면의 정확한 관측이 불가능한 겨울철의 자료는 분석에서 제외하고 각각 3월부터 11월까지의 자료를 사용하였다.

NOAA 위성의 AVHRR 센서는 광학 센서이므로 대상지역이 구름으로 덮여 있는 경우 지상의 정보를 얻을 수 없게 된다. 그러나 넓은 지역을 대상으로 하는 경우 구름의 영향이 전혀 없는 날의 위성자료를 얻는다는 것은 불가능하며 어떠한 방법에 의하여 구름을 영향을 제거한 NDVI를 작성할 필요가 있다. 지상의 관측을 저해하는 요소가 되는 구름이 존재하는 경우 NDVI는 대단히 낮아지며, 넓은 구름이 있는 경우라 하더라도 쾌청일에 비해 NDVI는 저하한다.

동일지점의 NDVI가 단기간에 급격하게 저하하는 경우 그 자료는 구름의 영향을 받은 것이라 생각할 수 있다. 반대로, 일정기간 동안의 NDVI가 가장 크게 나타난 자료가 가장 구름의 영향을 받지 않은 것이라 생각할 수 있다. 따라서 복수의 NDVI로부터 각 화소별로 최대치를 선택함으로써 구름의 영향을 최소화한 NDVI 자료를 얻을 수 있다. 이러한 과정을 거쳐 작성된 월 대표 NDVI를 이용하여 연도별 평균치를 나타내는 iNDVI를 작성하였다.

가뭄 분석을 위한 또 하나의 중요한 기법은 긴 시간에 걸쳐 변화하는 생태학적인 변화로부터 짧은 시간에 기상의 변화에 관계하는 NDVI 변화량을 분리하는 것이다. 즉, NDVI 혹은 iNDVI의 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 산

정하고 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 낮을 수록 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 검출되고 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 50 정도를 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.

#### 3.2 VCI와 강우량과의 관계

가뭄을 발생시키는 가장 중요한 요소는 강우현상이므로 VCI가 가뭄 분석의 유용한 지표로 이용되기 위해서는 강우량과의 밀접한 관계가 성립되어야 할 것이다. 연간을 통한 강우량이 풍부할 경우 그 만큼 식생의 활력에 최적의 조건을 제공할 가능성이 많으며, 그 결과가 식생 활력을 나타내는 NDVI에 반영되어진다. 또한 NDVI로부터 계산되는 VCI도 식생 활력이 원활하게 이루어진다면 비교적 높은 값을 나타내게 될 것이다. VCI의 경우 식생변화 조건 중에서 기상 요소에 관련된 부분만을 추출한 인자이므로 강우 현상과 VCI의 변화는 밀접한 관련이 있을 것으로 예상할 수 있다. 따라서, 6개년에 걸친 우리 나라 전역에 대한 VCI와 연강우량과의 변화양상을 분석하였으며, 그 결과를 그림 2에 나타내었다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 강우량이 적은 2000

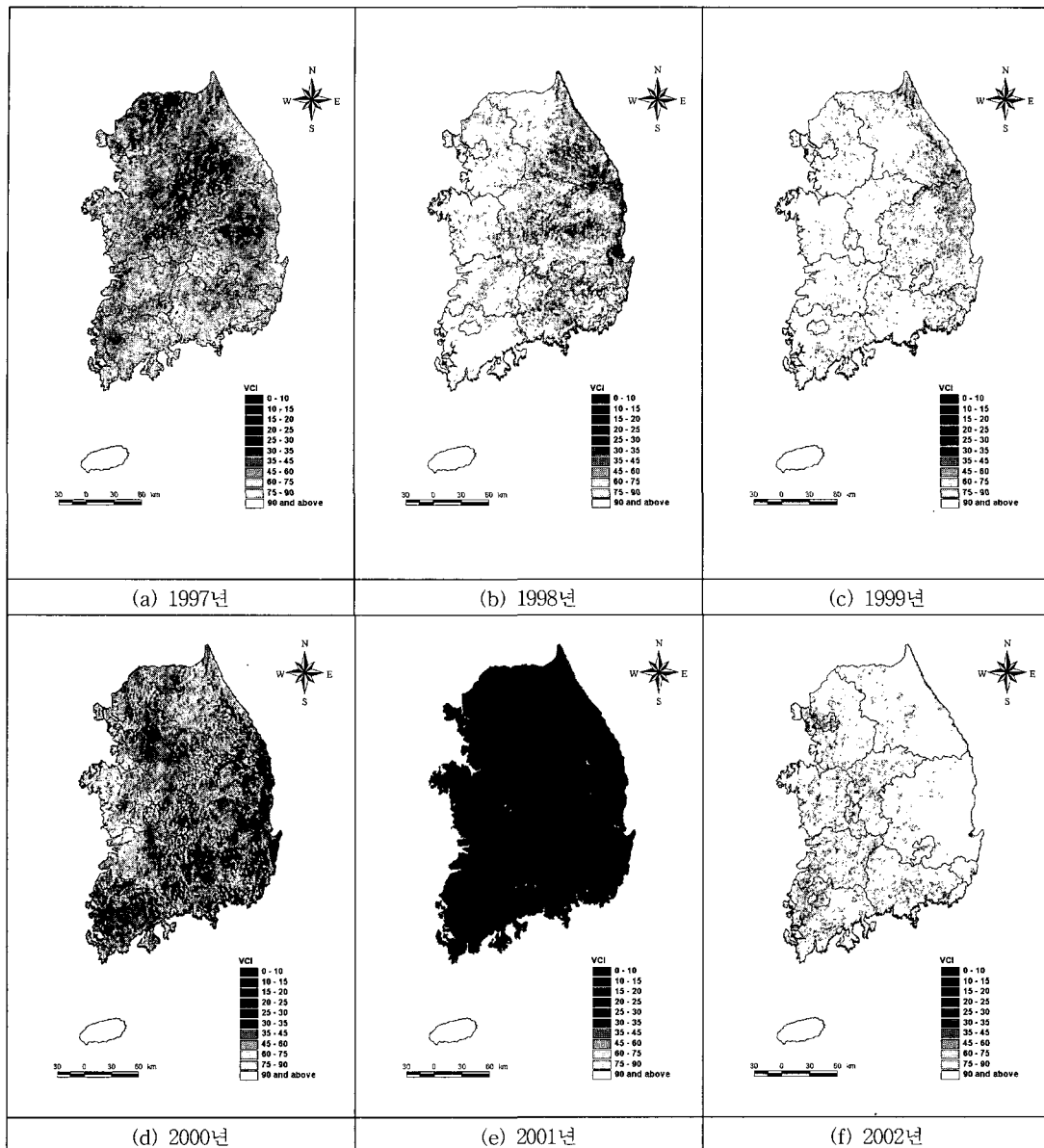


그림 1. 연도별 식생상태지수(VCI)의 분포

년과 2001년의 경우 VCI는 감소하고 있으며, 특히 전국적인 극심한 가뭄이 있었던 2001년의 VCI는 매우 낮은 값을 보이고 있다. 이와 같이 VCI와 연 강우량의 사이에는 높은 상관관계가 나타나고 있으며, 극심한 가뭄을 겪은 2001년의 경우 VCI는 극단적으로 낮아지고 있어 가뭄분석을 위하여 VCI가 유용한 지표로 이용될 수 있음을 알 수 있다.

또한, 연 강우량의 상대적 크기를 나타내기 위하여 6개년에 걸친 각 화소에서의 연평균 강우량을 산정하고 각 연도별로 그에 대한 상대적 크기를 백분율로 표시하여 VCI와 비교하였다(그림 3). 6개년간의 평균치(100%)보다 연 강우량이 적은 해는 1997년, 2000년과 2001년이며, 특히 2001년에는 약 72%에 불과함을 알 수 있다. 따라서, 1997년, 2000년과 2001년에는 식생이

스트레스를 받았을 가능성이 높으며, 결과적으로 가뭄에 의한 피해가 발생하였을 가능성이 높다. 또한, 그림에서 볼 수 있듯이 강우량이 상대적으로 적은 해의 경우 VCI 도 동시에 저하하고 있어 VCI를 이용하여 가뭄상황을 간접적으로 평가할 수 있음을 알 수 있다.

그러나, 1998년의 강우량이 2002년보다 많음에도 불구하고 2002년의 VCI가 크게 나타나고 있다. 이것은 강우량과 VCI와의 사이에는 상관관계는 존재하나 반드시 비례관계가 성립한다고는 말할 수 없다는 것을 보여주고 있다. 단순히 1년을 통하여 강우가 많았다고 하여 식생 스트레스가 없는 것은 아니며 강우의 시간적 양상에 따라서 많은 차이가 있을 것으로 보여진다. 예를 들어 7월에 집중된 강우에 의하여 연강우량은 증가할 것이나 그 이외의 기간에 식생 스트레스가 없다고는 말할 수 없을 것이다. 따라서 식생 스트레스를 강우에 의한

것만으로 판단하는 것은 어려우며, 이에 대한 것은 추후 월 단위의 자세한 연구가 진행되면 많은 부분 규명될 것으로 생각한다.

### 3.3 가뭄 위험 지역 분류

VCI가 식생 활성도 중에서 기상요소에 관련된 부분을 표시할 수 있다는 점과 VCI와 강우상황과 매우 높은 상관성이 있는 점으로부터 VCI가 가뭄 파악의 중요한 지표로 이용될 수 있음을 확인하였다. 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 식생상태도 약간씩은 변화될 수 있으므로 실

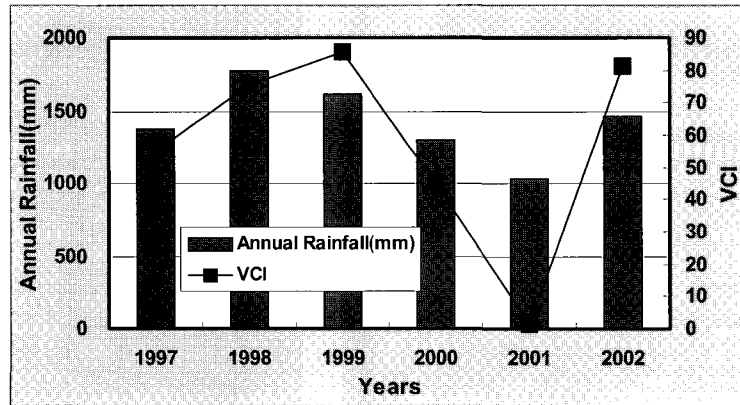


그림 2. 연강우량과 VCI의 연변화 양상

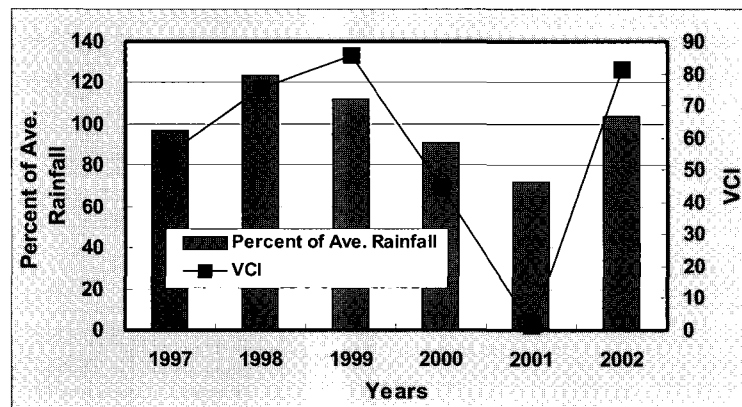


그림 3. 백분율 강우량과 VCI와의 관계

제로 물부족이 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 기준으로 본 연구에서도 이러한 연구 결과를 바탕으로 VCI 값 35를 기준으로 그 이하를 가뭄 위험 지역으로 판별하였으며, 이로부터 연도별 가뭄 위험지역은 그림 4와 같이 표시된다.

그러나, Kogan에 의한 기준(VCI<35)은 대단히 임의적이며, 더욱이 Kogan의 연구는 대규모 농경지가 존재하는 지역에서 이루어진 것으로 농경지의 규모가 크

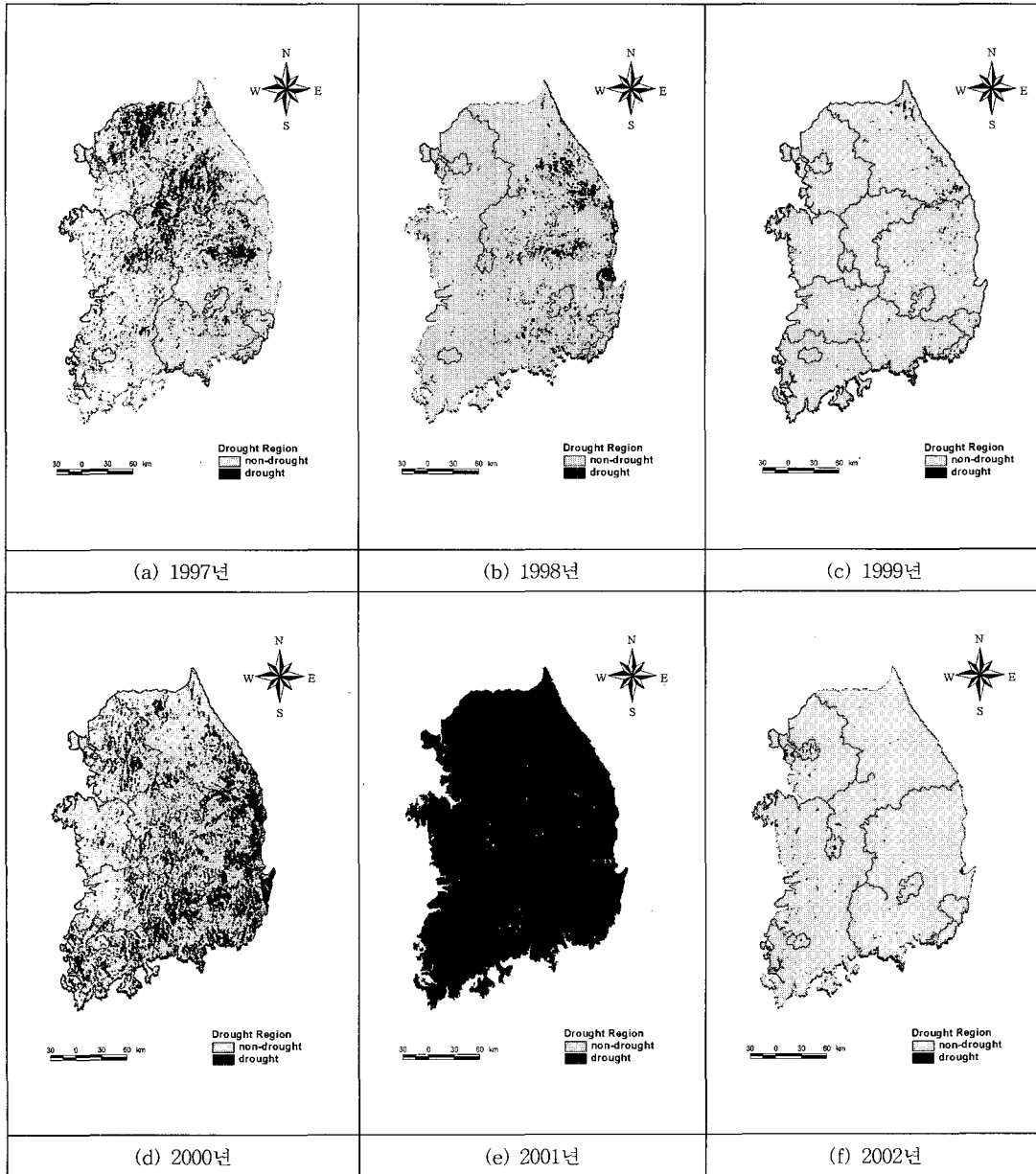


그림 4. VCI를 이용한 연도별 가뭄 위험 지역 판별



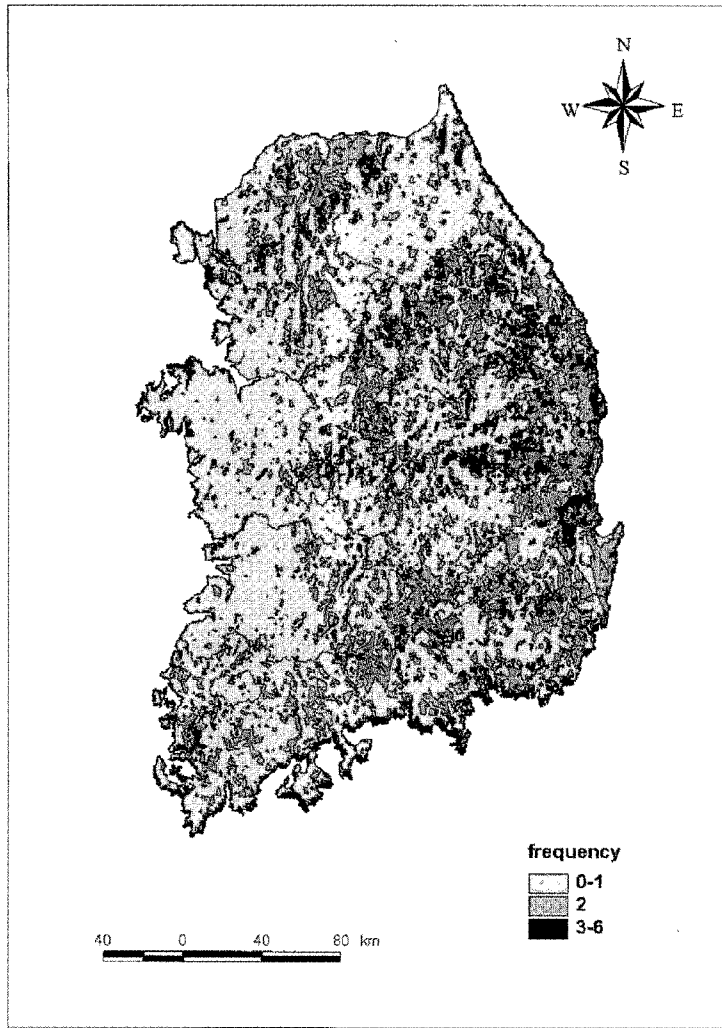


그림 5. 가뭄 발생 횟수별 분포도

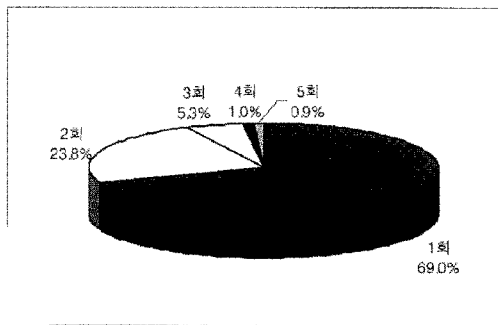


그림 6. 가뭄 발생 횟수별 분포

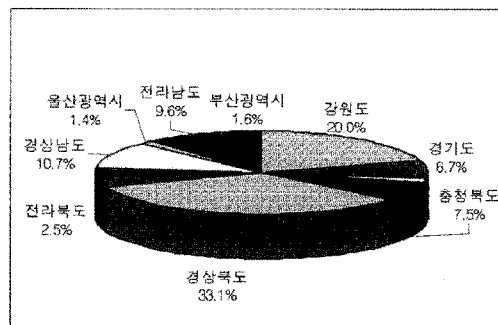


그림 7. 가뭄발생 3회 이상 지역의 분포

지 않은 우리 나라의 경우 VCI의 기준은 달라질 수 있을 것이다. 물론 이러한 기준을 정량적으로 제시하기 위해서는 우리 나라의 특성에 맞는 현상의 분석이 있어야 할 것이나, 현재의 시점에서 이용 가능한 자료의 한계성을 느끼지 않을 수 없었다. 따라서, 본 연구에서는 우리 나라에서의 현상 파악은 추후의 연구로 하고, Kogan이 제시하고 있는 기준에 의해 가뭄년과 비가뭄년을 판별하고 가뭄년의 경우 그 분포를 결정하기로 한다.

2001년은 거의 우리 나라 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 횡수를 조사하여 그림으로 표시하면 그림 5와 같다. 검정색에 가까울수록 가뭄 횡수가 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, 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 우리 나라 전지역의 약 31% 지역에서 1997년부터 2002년 사이에 2회 이상의 가뭄이 발생한 것으로 나타났다. 또한, 그림 7은 3회 이상 발생한 지역을 행정구역별로 표시한 것으로 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.

#### 4. 결 론

본 연구는 가뭄 분석을 목표로 위성자료로부터 얻어지는 식생지수에 근거한 식생상태지수(VCI)의 유용성 여부를 파악하기 위하여 수행되었다. 본 연구의 결과 NOAA/AVHRR 자료로부터 추출된 VCI가 가뭄 분석을 위한 유용한 도구로 이용될 수 있음을 확인하였다. 또한 VCI와 연강우량의 사이에는 강한 상관성이 있는 것으로 확인되어 VCI를 이용하여 가뭄 상황을 간접적으로 평가할 수 있음을 알 수 있었다. 식생의 변화량

중에서 기상 및 생태적인 성분을 반영하는 VCI는 어떤 지역에서의 식물 생산성 및 그 지역에서의 기후변화에 대한 공간적 변화를 파악할 수 있게 함으로서 지역 규모에서 기상자료가 제공할 수 없는 가뭄 패턴에 대한 귀중한 정보를 제공할 수 있음을 알 수 있었다.

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.

#### 감사의 글

본 연구는 “2002학년도 안동대학교 학술연구조성비”에 의해 수행되었으며, 연구에 사용된 위성자료는 기상청으로부터 제공받았습니다. 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- 김상민, 박승우 (1999). “우리 나라 주요 지점에 대한 가뭄지수의 산정과 비교.” **한국농공학회지**, 제41권, 제5호, pp. 43-52.
- 류재희, 이동률, 안재현, 윤용남 (2002). “가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교 연구.” **한국수자원학회 논문집**, 제35권, 제4호, pp. 397-410.
- 윤용남, 안재현, 이동률 (1997). “Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석.” **한국수자원학회 논문집**, 제30권, 제4호, pp. 317-326.
- 임경진, 심명필, 성기원, 이현재 (2001). “다양한 시계열을 이용한 가뭄지표 선정.” **한국수자원학회 논문집**, 제34권, 제6호, pp. 673-685.
- Benedetti, R., Rossini, P., and Taddei, R. (1994). “Vegetation classification in the Middle Mediterranean area by satellite data.” *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 15, pp. 583-596.
- Justice, C. O., Townshend, J. R. G., Holben, B. N.,

- and Tucker, C. J. (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.
- Lo Seen Chong, D., Mougin, E., and Gastellu-etchegorry, J. P. (1993). "Relating the global Vegetation Index to net Primary productivity and actual evapotranspiration over Africa." *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 14, pp. 1517-1546.
- Prince, S. D., and Astle, W. L. (1986). "Satellite remote sensing of rangelands in Botswana. I. Landsat MSS and herbaceous vegetation." *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 7, pp. 1533-1553.
- Rasmussen, M. S. (1992). "Assessment of millet yields and production in northern Burkina Faso using integrated NDVI from the AVHRR." *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 13, pp. 3431-3442.
- Townshend, J. R. G., and Justice, C. O. (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., Vanprent, C. L., Sharman, M. J., and Van Ittersum, G. (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., Townsend, J. R. G., and Goff, T. E. (1985b). "African land-cover classification using satellite data." *Science*, Vol. 227, pp. 369-375.
- Tucker, C. J., and Choudhury, B. J. (1987). "Satellite remote sensing of drought conditions." *Remote Sens. Environ.*, Vol. 23, pp. 243-251.
- Unganai, L. S., and F. N. Kogan. (1998). "Drought Monitoring and Corn Yield Estimation in Southern Africa from AVHRR Data." *Remote Sens. Environ.* Vol. 63, pp. 219-232.

(논문번호:03-38/접수:2003.04.15/심사완료:2003.09.16)