

## 봄 가뭄 평가를 위한 다중시기 MODIS 영상의 적용성 분석\*

박정술<sup>1\*</sup> · 김경탁<sup>1</sup> · 이진희<sup>1</sup> · 이규성<sup>2</sup>

### Applicability of Multi-Temporal MODIS Images for Drought Assessment in South Korea\*

Jung-Sool PARK<sup>1\*</sup> · Kyung-Tak KIM<sup>1</sup> · Jin-Hee LEE<sup>1</sup> · Kyu-Sung LEE<sup>2</sup>

#### 요 약

지난 2001년 발생한 전국적인 봄 가뭄을 계기로 체계적인 가뭄관리의 필요성이 증대 되었으며 가뭄 대책 수립 및 가뭄방제를 위한 다양한 연구가 수행되고 있다. Terra 위성으로부터 제공되는 MODIS 영상은 임의의 지역의 시·공간적 특성을 효과적으로 관찰할 수 있는 주기해상도와 공간 해상도를 보유하고 있다. 또한 적절한 자료처리 과정을 거쳐 제공되는 MODIS data product는 영상전처리 및 기하보정이 용이할 뿐만 아니라 다양한 기간에 대한 합성자료를 지속적으로 제공하여 가뭄 모니터링을 위한 도구로 활용 가능성이 제기 되고 있다. 본 연구에서는 2000년 이후 중부지방을 중심으로 심화되고 있는 봄 가뭄을 탐지하고 평가하기 위하여 안성천 유역과 남한강 상류유역을 대상으로 다중시기 MODIS 영상과 누가 강우량을 활용하였으며 가뭄발생년도와 평년의 식생의 변화탐지 결과를 다양한 지형 공간 자료와 비교하였다. 연구결과 남한의 봄 가뭄 평가를 위한 도구로 지표면복사온도(LST) 보다는 정규식생지수(NDVI)와 지표면수분지수(LSWI)를 활용하는 것이 적절했으며 MODIS NDVI 및 LSWI는 약 2개월의 누가강수량과 일정한 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 또한, 토지피복 및 고도에 따라 가뭄에 대한 영향이 달라지는 것으로 나타나 MODIS 영상을 이용한 효과적인 가뭄분석을 위해서는 동일시기 및 동일공간을 대상으로 한 영상자료의 활용이 필요한 것으로 나타났다.

주요어 : 위성영상, 봄 가뭄, MODIS, NDVI, LST, LSWI

#### ABSTRACT

The need for a systematic drought management has increased since last countrywide drought in 2001. Naturally various studies for establishing drought plan and preventing drought

2006년 11월 9일 접수 Received on November 9, 2006 / 2006년 12월 18일 심사완료 Accepted on December 18, 2006

\* 이 논문은 공공기술연구회의 일반연구사업 (사업명 : 위성자료 공공활용 연구-위성영상을 이용한 하천정보생산 및 활용에 관한 연구)의 연구비지원에 의해 수행되었음.

1 한국건설기술연구원 수자원연구부 Water Resources Research, Division, Korea Institute of Construction Technology

2 인하대학교 지리정보공학과 Department of Geo-informatic Engineering, Inha University

\* 연락처 : E-mail : parkjs@kict.re.kr

disaster have been conducted. MODIS image provided by Terra satellite has effective spatial and temporal resolutions to observe spatial and temporal characteristics of a region. MODIS data products are easy for preprocessing and correcting geometrically and provide various data set in regular which are applicable for drought monitoring. In this study, Ansung river and the upstream of South Han river basin was chosen for case study to identify and assess spring drought. The multi-period MODIS image and accumulated precipitation were used to detect not only the drought year but also the vegetation change of normal year and the result were compared with various spatial data. The result shows NDVI and LSWI with is more appropriate than LST for assessing spring drought in Korea and two month cumulative precipitation has moderate relationship with drought. It is necessary to use MODIS image which has same period and same space for effective drought analysis because drought is also affected by landover and altitude.

*KEYWORD : Satellite Images, Spring Drought, MODIS, NDVI, LST, LSWI*

## 서론

가뭄은 인간이 극복하기 힘든 자연재해로 시간규모가 다양하고 누적된 효과가 천천히 나타나기 때문에 인지가 어려우며 이로 인해 피해가 커지는 경향이 있다(최영진, 1995). 가뭄을 분석하기 위해서는 가뭄의 진행 상태나 심한 정도를 객관적으로 판단할 수 있는 이해하기 쉬운 수치가 필요하며 가뭄지수는 수문변수를 이용하여 가뭄의 심도와 기간을 분석하는데 널리 이용되고 있다. 그러나 다양한 가뭄지수는 관심분야에 따라 각기 다른 입력변수를 이용해 가뭄의 심도와 기간을 분석하므로 가뭄상황에 대해 반드시 동일한 반응을 나타내지는 않으며(수자원공사, 2002) 가뭄상황을 지점별로 평가한 후 이를 통계적 기법으로 보간하여 분포시킴으로 지표면 특성을 반영할 수 없는 한계를 갖고 있다(신사철, 2006).

가뭄감시를 위해 사용가능한 인공위성 영상 자료는 이와 같은 가뭄지수의 단점을 보완할 수 있는 수단으로 높은 활용성을 갖고 있다. 위성영상을 이용한 가뭄감시는 다중시기의 식생지수와 지표면 복사온도 등을 이용하여 현지점의 가뭄상황을 간접적으로 파악하며 가뭄

이 발생하여 식생이 물 부족에 의한 스트레스를 받게 되면 식생의 활력도는 저하되며 그 지점의 지표면 온도는 상승한다는 원리에 기초한다. 특히, NOAA(national oceanic and atmospheric administration) AVHRR(advanced very high radiometric resolution)의 NDVI(normalized difference vegetation index)는 20년 이상 축적된 자료를 바탕으로 건조지역의 가뭄탐지를 위한 목적으로 다양하게 활용되고 있다.

Kogan(1995)은 식생에 영향을 주는 기상 요소의 변화를 검출하기 위해 다중시기 NDVI의 화소별로 최대값과 최소값을 계산하여 이용하는 VCI(vegetation condition index)를 제안하였으며, Peter 등(2002)은 NDVI를 표준화한 SVI(standardized vegetation index)를 5등급으로 세분화하여 가뭄모니터링에 활용하였다. 또한, Ji와 Peter(2003)는 식생지수와 누가 기간에 따른 SPI(standardized precipitation index) 가뭄지수를 비교하여 지속기간 3개월의 SPI 지수가 식생지수와 가장 높은 상관성을 갖고 있음을 제시하였다.

NDVI와 더불어 지표면 복사온도 역시 건조지역의 가뭄감시를 목적으로 활용되고 있으며 McVicar 등(1998)은 식생지역의 지표면 온도

증가는 수분스트레스와 가뭄현상을 평가하는 지표로 활용 가능함을 제시하였으며, 박선엽(2003)은 MODIS(moderate resolution imaging spectroradiometer) LST(land surface temperature)를 미국 중부 대평원 지역의 가뭄모니터링을 위한 지표로 활용하였다. 식생지수와 지표면 복사온도를 동시에 활용한 연구도 수행되어 Kogan(1997)은 VCI 및 TCI(temperature condition index)의 적용성을 동아시아, 아프리카 등을 대상으로 평가하였으며, McVicar와 Bierwirth(2001)는 누가강수량과 지표면 복사온도 및 NDVI의 상관성을 제시하였다. Wan 등(2004)은 MODIS NDVI와 LST를 결합한 VTCI(vegetation temperature condition index)를 활용하여 준 실시간 가뭄모니터링 기법을 제안하였다.

위성영상을 이용한 국내의 가뭄분석 연구는 NOAA AVHRR NDVI를 활용한 연구가 주를 이루며, 5년~8년 주기로 발생하는 한반도의 가뭄현상을 탐지하고 VCI와 SVI 등의 식생지수를 통해 가뭄심도를 정량화하고 가뭄발생지역을 추출하고자 하였다(김철준, 2003; 신수현, 2005). 그러나 기상학적 인자를 제외하고 식생에 영향을 주는 요인이 없다고 가정하는 VCI 계산에 연평균 자료를 활용하기에는 무리가 따르며(김철준, 2003), GAC(global area coverage) NDVI의 경우 4Km의 공간해상도로 토지피복 구분의 불확실

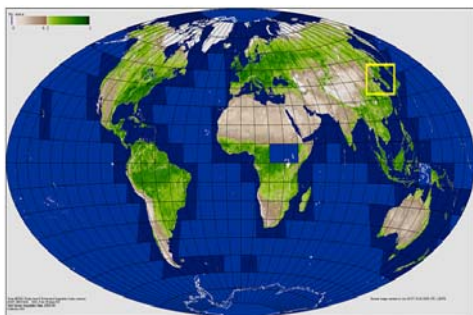
성을 내포하고 있으므로 보다 향상된 공간해상도 자료가 요구된다(신수현, 2005).

2000년 이후 발생하고 있는 한반도의 봄 가뭄은 단기간의 강수부족에 의한 기상학적 가뭄으로 가뭄의 지역적 편차가 심하고 식생의 활력이 크지 않은 시기에 발생한다는 특징이 있으며 봄 가뭄을 효과적으로 탐지하고 평가하기 위해서는 식생의 미세한 변화를 관찰할 수 있는 분해능과 공간해상도를 보유한 영상자료의 활용이 요구된다. 이에 본 연구에서는 NOAA AVHRR 에 비해 향상된 공간/분광/방사 해상도를 갖는 MODIS 위성영상자료를 이용하여 2000년 이후 주기적으로 발생하고 있는 한반도의 봄 가뭄을 탐지하고 평가하였다. 또한, 가뭄발생지역의 공간분포와 위성영상자료간의 상관성을 정량적으로 분석하였으며, 이를 토대로 공간적 변이를 고려한 위성영상자료의 활용성을 제시하였다.

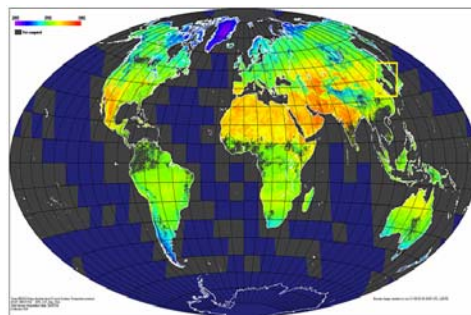
## MODIS NDVI, LST, LSWI

### 1. MODIS data product

MODIS 센서는 범지구 환경모니터링(Earth Observing System: EOS) 프로그램의 일환으로 발사된 Terra(EOS AM)위성과 Aqua(EOS PM) 위성에 장착되어 있으며 총 36개의 분광밴드를 이용하여 육지, 해양, 대기에서 발생하는 지구환



(a) MODIS NDVI



(b) MODIS LST

FIGURE 1. MODIS data product

TABLE 1. 연구에 활용된 MODIS 영상자료 명세

	NDVI	LST	Surface reflectance
분광해상도	16 bit	16 bit	16 bit
입력사용영상	적외선, 근적외선 지표면 반사율	지표면 복사 자료, 대기온도 및 수증기, 구름마스킹	근적외선, 중적외선 지표면 반사율
해상도	250 m	1 Km	250 m
공급주기	16일	8일	16일
투영법	원통투영법	원통투영법	원통투영법
추정알고리즘	BRDF-MODEL, CV-MVC	Generalized split-window algorithm	-

경에 대한 자료를 제공한다. NASA의 EOS Data Gateway([http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/ims\\_welcome/index.html](http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/ims_welcome/index.html))는 EOS 프로그램을 통해 수집한 위성영상자료의 DB를 구축하고 대기 보정 및 밴드별 연산을 통해 제작한 다양한 위성영상 자료(product)를 대기, 빙하, 육지, 대양, 자료보정 분야별로 제공하고 있다. 본 연구에서는 EOS Data Gateway에서 제공하는 Terra MODIS Data Product 중 지표면 반사율(MOD 09), 지표면 복사온도(MOD 11)와 식생지수(MOD 13) 자료를 활용하였다. 본 연구에 활용된 MODIS 영상자료의 특성은 표 1과 같다.

## 2. MODIS NDVI, LST, LSWI

### 2.1 MODIS NDVI

식생지수는 광합성 활동의 모니터링에 사용될 수 있는 식생의 시공간적 변화탐지를 효과적으로 수행할 수 있는 도구로 지구 기후 감시와 생물권의 상호작용 모델링 및 천연자원 관리, 농업작물 감시 등 다양한 분야에서 활용되고 있다(Huete 등, 1999). MODIS 식생지수는 지구 모니터링 목적으로 개발된 NDVI와 대기의 영향을 줄이고 식생의 밀도에 따른 민감도를 탐지하기 위한 EVI(enhanced vegetation index)로 구별된다. 본 연구에 활용된 MODIS NDVI는 일 단위의 지표면 반사율(Surface

reflectance) 중 적색광 영역과 근적외선 영역을 16일 단위로 합성한 후 이를 식 (1)과 같이 밴드 연산하여 16일 간격의 자료로 제작한다.

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

여기서,  $\rho_{NIR}$ : 근적외선 밴드의 지표면 반사율

$\rho_{RED}$ : 적외선 밴드의 지표면 반사율

MODIS NDVI는 NOAA AVHRR NDVI에 비해 향상된 공간해상도를 갖으며, 좁은 밴드 폭을 갖는 적외선과 근적외선을 사용하여 대기의 영향을 감소시키며 16bit의 분광해상도를 보유하고 있어 지표의 식생상황을 충실하게 반영하는 특징을 갖는다(Huete 등, 2002).

### 2.2 MODIS LST

지표에 축적된 태양에너지는 열에너지로 전환되는데, 이 열에너지의 유출은 지표피복, 토양수분, 토양종류 등에 따라 영향을 받는다. 지표피복이 식생인 경우, 표면의 열적 환경은 주위 기온과 증발산을 통해 표면으로부터 대기로 수분을 이동시키는 식생의 생리적 과정에 의해 결정되며(박선엽, 2003), 열적외선 자료를 통해 얻어지는 지표면 복사온도는 지표

$$T_s = C + (A_1 + A_2 \frac{1-\epsilon}{\epsilon} + A_3 \frac{\Delta\epsilon}{\epsilon^2}) \frac{T_{31} + T_{32}}{2} + (B_1 + B_2 \frac{1-\epsilon}{\epsilon} + B_3 \frac{\Delta\epsilon}{\epsilon^2}) \frac{T_{31} - T_{32}}{2} \quad (2)$$

여기서, T31, T32 : MODIS 밴드 31과 32의 지표면 방출율

$$\epsilon = 0.5(T_{31} + T_{32})$$

$$\Delta\epsilon = T_{31} - T_{32}$$

C와 A1, A2, A3, B1, B2, B3: 유효계수

에 측정된 순 복사 에너지양에 비례하기 때문에 지표의 수분상태를 잘 반영한다. 이와 같은 이유로 지표면 복사온도는 식생지수와 더불어 가뭄을 탐지하기 위한 수단으로 활용되고 있으며, MODIS LST는 일반 다파장대 보정법 (Generalized split-window algorithm)을 사용하여 식 (2)와 같이 지표면 복사온도를 계산한다.

식 (2)에서 유효계수 C와 A1, A2, A3, B1, B2, B3 등은 광역의 대기 및 지표조건에 따라 계산되는 복사전달모델의 선형회귀분석을 통해 얻어진 Lookup table을 통해 제공된다 (Wan, 2002).

### 2.3 MODIS LSWI

LSWI(land surface water index)는 식 (3)과 같이 근적외선 밴드와 중적외선 밴드의 조합으로 계산되며, 식물의 수분함유량 및 토양 수분함유량에 민감하게 반응하는 중적외선 영역의 반사특성을 이용하여 수관층의 수분함유량을 추정하는데 활용가능하다(Xiao 등, 2002).

$$LSWI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR}} \quad (3)$$

여기서,  $\rho_{NIR}$ : 근적외선 밴드의 지표면 반사율

$\rho_{SWIR}$ : 중적외선 밴드의 지표면 반사율

수분부족으로 인한 식생지수의 반응이 일정한 지체 시간을 갖는 반면, LSWI는 지표면의 수분함유량 정보를 신속하게 제공하므로 가뭄으로 인한 지표면 수분변화를 파악하는데 활용할 수 있다.

본 연구에서는 EOS Gateway를 통해 수집한 MODIS NDVI, LST 및 지표면 반사율 자료를 밴드 연산하여 직접 제작한 LSWI를 가뭄평가를 위한 도구로 활용하였다. 연구대상지역의 2000년~2005년 MODIS 자료를 수집한 후 Sinusoidal 투영체계를 UTM 좌표체계로 변환하였으며, 영상 헤더파일에서 제공하는 gain과 offset을 이용하여 화소 값을 변환한 후 연구대상유역을 추출하였다.

NDVI 자료제공 주기를 기준으로 일 강우량을 16일 단위의 누가강우량으로 합성하였으며 이를 보간하여 16일 단위 유역평균 강우량을 계산하였다. 이와 같이 산정된 MODIS 영상자료와 유역평균 강우량의 상관성을 비교하였으며, 가뭄발생년도와 평년의 비교를 통하여 가뭄의 지속기간 및 심도 등을 평가하였다. 마지막으로 공간적 변이를 고려한 위성영상자료의 활용성을 제시하기 위해 지형공간자료와 가뭄발생지역의 위성영상 자료를 비교하였다. 연구대상지역의 지형 공간 자료는 수치지도로부터 직접 제작한 DEM과 산림청의 3차임상도, 환경부의 중분류 토지피복도 등을 활용하였다. 본 연구의 흐름도는 그림 2와 같다.

## 연구대상 지역 선정 및 연구방법

### 1. 연구대상 지역 선정

본 연구를 위해 경기남부와 충청북부에 위치한 안성천 유역과 강원 동부에 위치한 남한강 상류유역을 연구대상지역으로 선정하였으며, 강우량 및 공간특성이 상이한 두 유역의

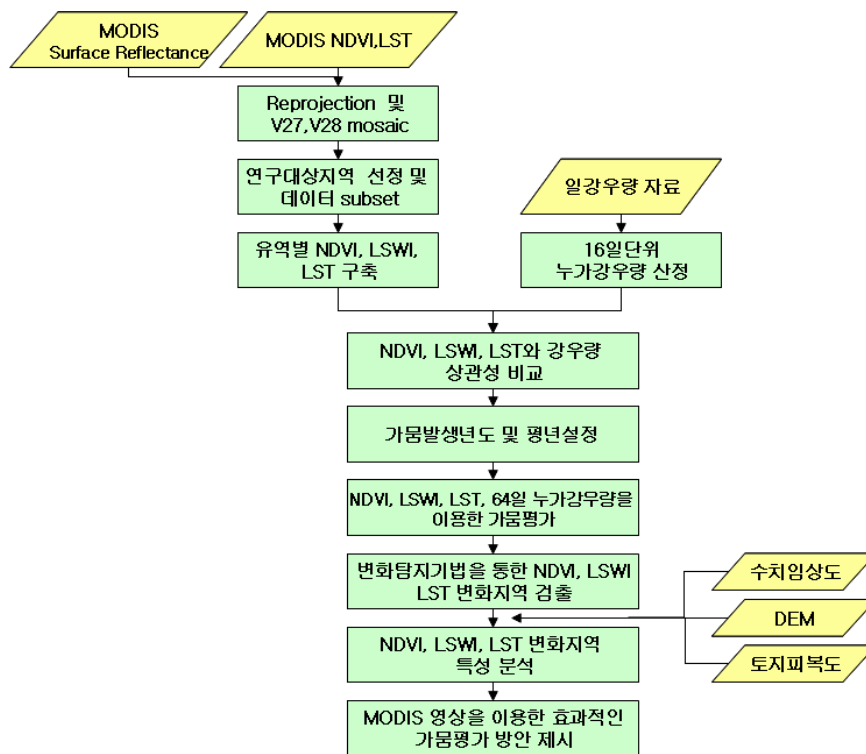


FIGURE 2. 연구흐름도

가뭄특성을MODIS 영상을 통해 비교하였다.

안성천 유역은 충청남도 천안, 안산과 경기 남부의 수원, 안성, 평택 등을 포함하는 중규모 유역으로 평균고도가 낮고 농경지를 비롯하여 산림, 초지 등 토지피복 구성이 다양한 지역이다. 수원, 이천, 천안 기상관측소 강우자료를 이용하여 안성천 유역의 2000년과 2001년의 3월~5월 강우량을 산정한 결과에 따르면 평년대비 강우량은 약 35%와 15%를 기록

하였으며 2001년 봄 가뭄 당시 관측 이래 최소강우량을 기록하였다.

남한강 상류유역은 강원도 강릉시, 삼척시, 영월군, 정선군, 태백시, 평창군 등을 포함하며, 평균고도는 745m로 매우 높은 편이며 전체 유역의 84%가 산림으로 구성되어 있다. 주변의 기상관측소는 대관령, 강릉, 동해, 태백, 영월관측소 등이며 2000년과 2001년의 3월~5월 평년대비 강우량은 약 55%와 32%로 타 지역

TABLE 2. 연구대상지역의 특성

	유역면적 (km <sup>2</sup> )	평균고도 (m)	행정구역	토지피복분류(환경부 대분류 기준) (%)						
				수역	도시	나지	습지	초지	산림	농경지
안성천유역	1658.66	69.9	경기도 충청남도	2.05	11.17	0.17	3.41	6.56	36.41	40.22
남한강 상류유역	2447.85	745	강원도	0.27	0.47	0.00	1.30	2.92	84.25	11.06

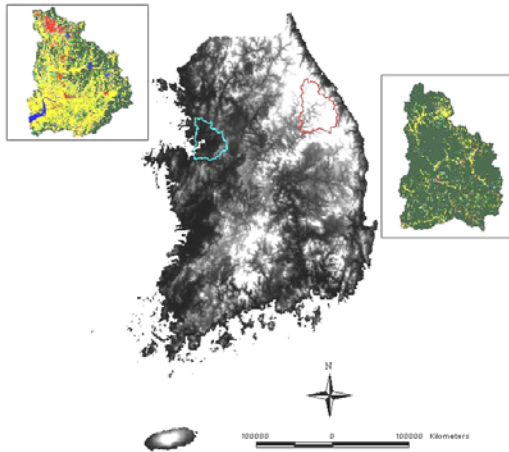


FIGURE 3. 연구대상 지역

에 비해 가뭄의 심도가 큰 편은 아니었던 것으로 조사되었다.

2. 다중시기 MODIS 자료 구축

EOS Data Gateway를 통해 수집한 MODIS NDVI, LST 등의 자료를 그림 4와 같은 영상전처리 과정을 거쳐 대상구역별로 구축하였다. 8일 합성자료인 MODIS LST의 경우 16일 간격으로 변환하였으며, 절대온도(Kelvin)를 섭씨온도(°C)로 변환하여 사용하였다. 좌표변환에는 MODIS reprojection tool을 사용하였으며 gain, offset을 이용한 화소값 변환 및 LSWI 제작을 위한 밴드연산에는 Erdas Imagine 8.4를 각각 이용하였다. 자료구축 시기는 봄철을 대상으로 하였으며, 3월 6일에서 6월 25일까지의 16일 간격의 자료를 표 3, 4와 같이 구축하였다.

3. 누가 강우 시계열 산정

연구대상 지역의 평균 강우량을 산정하기 위해 본 연구에서는 그림 5의 (a), (c)와 같이 분포하고 있는 기상관측소의 일 강우자

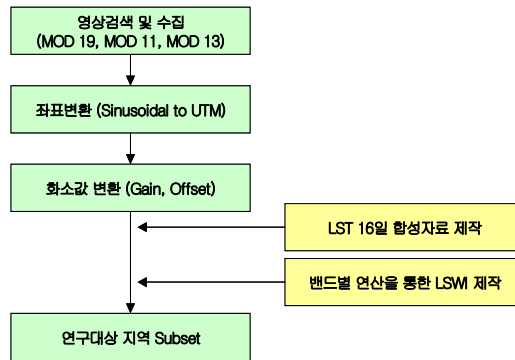


FIGURE 4. 다중시기 MODIS 자료 구축 과정

료를 이용하였다. 관측소별 일 강우량을 MODIS 자료 주기와 동일하도록 16일 단위로 누적하였으며, 16일 누가강우량을 IDW (inverse distance weighted) 방법으로 보간하여 16일 누가 강우 시계열을 계산하였다. 본 연구에서는 그림 5의 (b), (d)와 같이 산정된 강우분포도의 평균값을 이용하여 16일 단위로 누적한 누가강우량을 MODIS 영상자료와 비교하였다.

4. MODIS 영상자료를 이용한 이미지 연산

변화탐지(Change detection)는 다중시기 데이터를 이용하여 시간에 따른 생물학적 요소나 인공물들의 동적인 변화를 관찰하는 기법으로 본 연구에서는 가뭄발생년도와 평년의 동일시기 영상자료를 변화탐지 기법중 하나인 이미지 연산(Image differencing)을 적용하여 가뭄에 따른 영향을 공간분포로 도시하였다. 이미지 연산은 개별적인 영상의 차이를 이용하여 변화지역을 탐지하는 방법으로 다중시기의 영상으로부터 추출된 식생지수의 비교를 위해 사용될 수 있다. 즉, 두 시기의 정규식생지수 중 하나에서 다른 하나를 빼는 마이너스 연산을 통해 NDVI의 변화지역을 검출한다(Lyon 등,1998).

TABLE 3. 안성천 유역의 MODIS 자료 구축결과

자료	Date	2000	2001	2002	2003	2004	2005
ND VI	3/6	0.358	0.315	0.391	0.249	0.404	0.242
	3/22	0.384	0.357	0.368	0.349	0.383	0.335
	4/7	0.385	0.382	0.415	0.364	0.386	0.388
	4/23	0.39	0.415	0.561	0.496	0.532	0.438
	5/9	0.508	0.694	0.758	0.719	0.734	0.741
	5/25	0.795	0.795	0.786	0.818	0.792	0.828
	6/10	0.801	0.821	0.8	0.818	0.79	0.834
LST	3/6	6.82	4.69	8.32	1.92	5.14	1.54
	3/22	9.82	11.14	10.35	11.19	13.01	9.73
	4/7	12.36	17.34	16.74	15.45	18.8	14.69
	4/23	19.2	18.2	16.8	20.93	17.06	21.89
	5/9	21.36	20.41	20.63	20.16	18.99	18.25
	5/25	24.02	24.86	21.99	21.66	22.85	22.34
	6/10	23.98	23.18	17.96	20.33	12.93	24.17
LS WI	3/6	0.139	0.304	0.123	0.518	0.106	0.495
	3/22	0.105	0.11	0.072	0.172	0.076	0.243
	4/7	0.06	0.083	0.118	0.059	0.096	0.095
	4/23	0.092	0.167	0.316	0.21	0.262	0.15
	5/9	0.23	0.483	0.581	0.522	0.547	0.559
	5/25	0.627	0.623	0.621	0.662	0.632	0.673
	6/10	0.635	0.667	0.647	0.674	0.624	0.679

TABLE 4. 남한강 상류유역의 MODIS 자료구축결과

자료	Date	2000	2001	2002	2003	2004	2005
ND VI	3/6	0.216	0.308	0.305	0.378	0.287	0.306
	3/22	0.276	0.282	0.284	0.299	0.283	0.284
	4/7	0.28	0.293	0.358	0.367	0.285	0.31
	4/23	0.341	0.358	0.416	0.472	0.424	0.39
	5/9	0.413	0.436	0.491	0.569	0.53	0.49
	5/25	0.498	0.488	0.509	0.548	0.515	0.524
	6/10	0.574	0.594	0.606	0.532	0.541	0.607
LST	3/6	12.33	11.56	14.6	10.55	10.49	8.2
	3/22	15.94	16.24	12.06	16.87	18.58	14.98
	4/7	19.87	21.82	17.61	19.74	24.14	18.01
	4/23	21.6	22.08	21.2	22.21	21.57	25.81
	5/9	21.28	25.41	24.72	16.86	24.85	24.77
	5/25	28.04	29.76	27.81	27.82	27.76	28.9
	6/10	29.28	29.9	25.32	17.89	14.47	27.63
LS WI	3/6	0.046	0.07	0.029	0.144	0.095	0.088
	3/22	0.024	0.045	0.033	0.072	0.018	0.026
	4/7	0.021	0.068	0.151	0.164	0.036	0.104
	4/23	0.139	0.222	0.239	0.355	0.225	0.212
	5/9	0.256	0.324	0.394	0.5	0.43	0.398
	5/25	0.394	0.373	0.41	0.442	0.401	0.413
	6/10	0.447	0.429	0.482	0.452	0.413	0.472

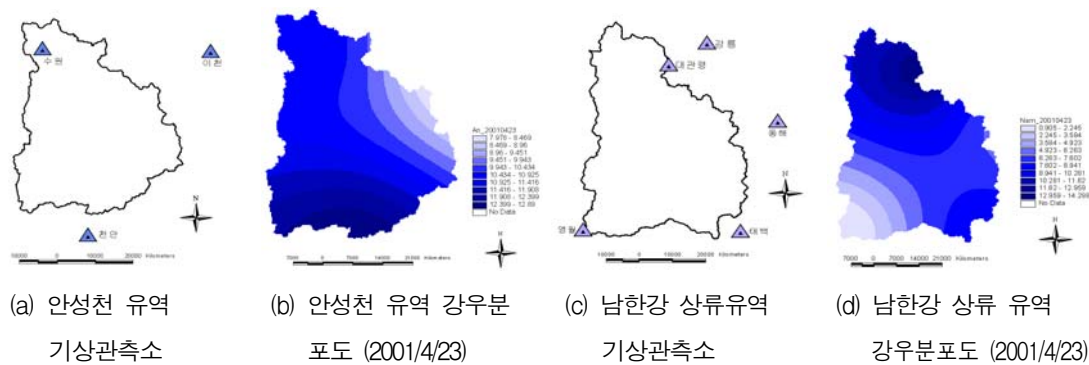


FIGURE 5. 기상관측소 현황 및 16일 간격의 유역평균 강우량



$$\Delta NDVI_{ij} = NDVI_{ij}(1) - NDVI_{ij}(2) \quad (4)$$

여기서,  $\Delta NDVI_{ij}$  = NDVI 값의 변화

$NDVI_{ij}(1)$  = 첫 번째 시기의 NDVI

$NDVI_{ij}(2)$  = 두 번째 시기의 NDVI

$i$  = Line number

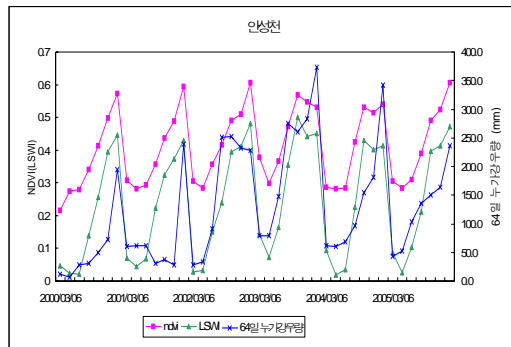
$j$  = Column number

본 연구에서는 MODIS 영상자료간의 이미 지 연산결과를 토지피복도 및 수치임상도, DEM과 같은 지형공간자료와 비교하여 어떤 지형공간적 특성이 가뭄에 민감하게 반응하는 가를 분석하였으며 이를 고려한 가뭄모니터링 방안을 제시하였다.

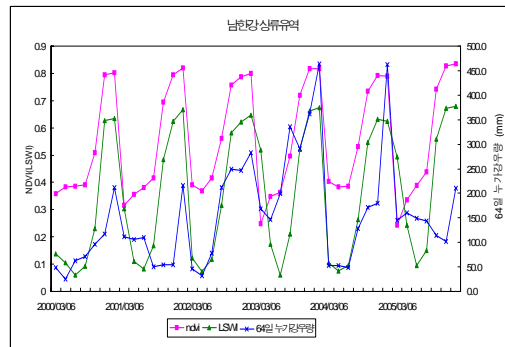
## 결과 및 고찰

### 1. MODIS 영상자료와 누가강우량의 비교

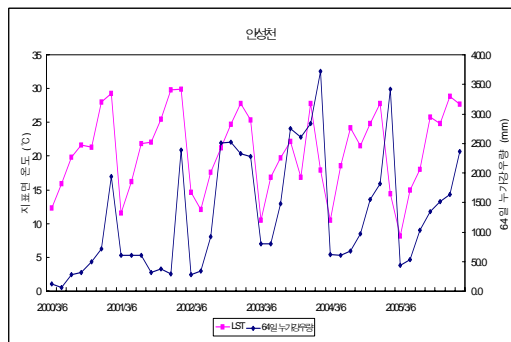
2000년 이후 발생하고 있는 봄 가뭄은 단기 간의 강수부족으로 인한 기상학적 가뭄으로 본 연구에서는 강우량을 가뭄을 평가하는 기준으로 선정하고 MODIS 영상자료를 이와 비교하였다. 즉, 표 3과 4와 같이 산정된 16일 간격의 시계열 MODIS 자료를 16일 단위의 누가강우 시계열과 비교하여 상관성을 판별하였다. 비교결과 NDVI, LSWI, LST은 약 2달(64일)의 누가강우량과 가장 높은 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 그러나 64일~96일 누가강우량에 따른 MODIS 자료의 상관계수 변화



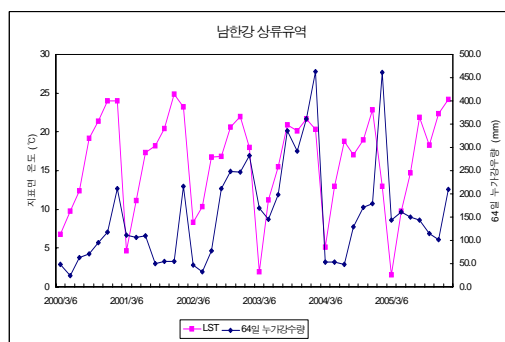
(a) NDVI, LSWI와 64일 누가강우량 비교



(a) NDVI, LSWI와 64일 누가강우량 비교



(b) LST와 64일 누가강우량 비교



(b) LST와 64일 누가강우량 비교

FIGURE 6. MODIS 영상자료와 64일 누가강우량의 변화 비교(안성천 유역)

FIGURE 7. MODIS 영상자료와 64일 누가강우량의 변화 비교(남한강 상류 유역)

는 크지 않았으며 이를 통해 물 부족에 대한 식생의 반응은 약 2~3개월의 지체 시간을 갖는 것으로 판단되었다.

안성천 유역의 경우 64일 누가강우량과 NDVI, LSWI의 상관관계수(R)는 각각 0.78과 0.76을 나타내었으며, 남한강 상류 유역의 경우 0.54과 0.58로 나타나 상대적으로 안성천 유역의 누가강우량과 MODIS 영상자료간의 상관성이 높은 것으로 나타났다. 그러나 LST의 경우에는 두 유역모두 상관관계수가 0.35이하로 나타나 변수들간에 상관성이 발견되지 않았다. 그림 6과 7은 2000년~2005년 봄철의 64일 누가강우량과 MODIS 영상자료간의 변화를 16일 간격으로 도시한 것으로 64일 누가강

우량과 NDVI, LSWI 변화패턴의 유사성을 확인할 수 있다.

2. MODIS 영상자료를 이용한 봄 가뭄평가

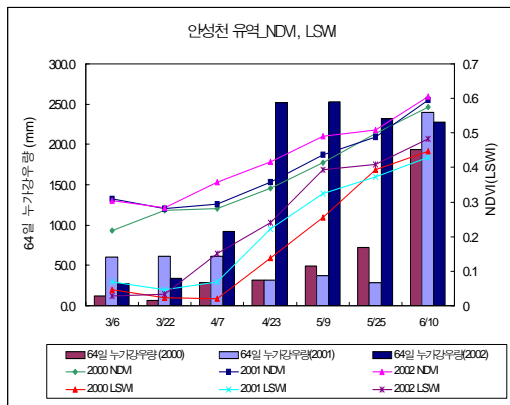
Terra 위성은 1999년 12월 발사되어 2000년 2월 이후의 영상을 제공하고 있다. 자료 제공 기간이 길지 않은 이유로 MODIS 영상자료는 VCI와 SVI와 같이 10년 이상 누적된 장기간의 자료를 이용한 특정 시점의 심도분석이 어렵다. 본 연구에서는 2000년~2005년의 봄철 평균 강우량 및 연도별 강우량을 이용하여 가뭄발생연도 및 평년과 가장 유사한 값을 갖는 연도(이하 평년으로 가정)를 선정하였으며, MODIS

TABLE 5. 가뭄발생연도 및 비교연도 선정(안성천)

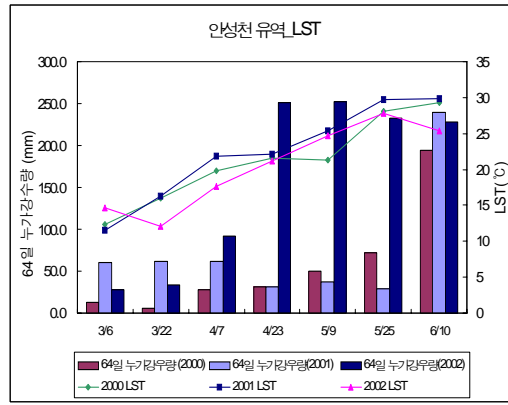
안성천 (3/6~6/25)	2000	2001	2002	2003	2004	2005
연도별 누가 강우량	76.3	37.4	262.7	307.2	201.9	193.8
유역평균 강우량	242.3	242.3	242.3	242.3	242.3	242.3
유역평균 대비	31.49 %	15.44 %	108.42 %	126.78 %	83.33 %	79.98 %

TABLE 6. 가뭄발생연도 및 비교연도 선정  
(남한강 상류유역)

남한강 상류 (3/6~6/25)	2000	2001	2002	2003	2004	2005
연도별 누가 강우량	134.2	77	270.9	413.8	202	176
유역평균 강우량	248.2	248.2	248.2	248.2	248.2	248.2
유역평균 대비	54.07 %	31.02 %	109.15 %	166.72 %	81.39 %	70.91 %

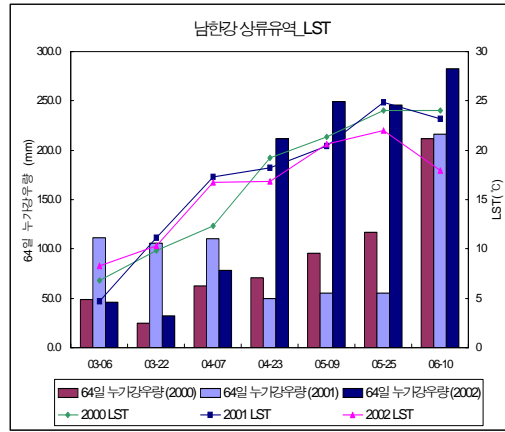
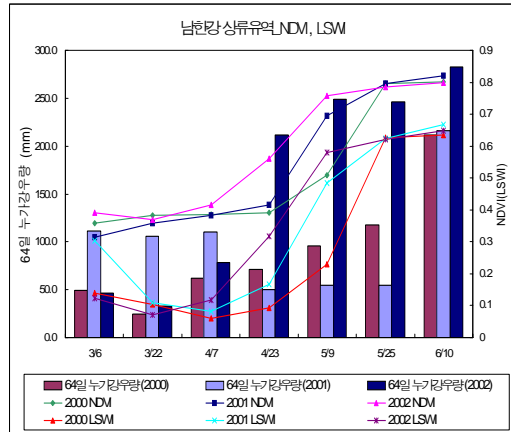


(a) 시기별 NDVI, LSWI와 64일 누가강우량 비교



(b) 시기별 LST와 64일 누가강우량 비교

FIGURE 8. MODIS 영상자료와 64일 누가강우량의 시기별 변화(안성천 유역)



(a) 시기별 NDVI, LSWI와 64일 누가강우량 비교

(b) 시기별 LST와 64일 누가강우량 비교

FIGURE 9. MODIS 영상자료와 64일 누가강우량의 시기별 변화(남한강 상류 유역)

영상자료를 이와 비교하여 가뭄사상별 지속기간 및 심도를 평가하였다.

표 5와 6은 3월 6일~6월 25일을 대상으로 산정된 안성천 유역과 남한강 상류유역의 연도별 강우량 및 유역 평균 강우량으로 2000년과 2001년의 경우 평년대비 15%~54% 비율을 나타내고 있으며, 2002년의 경우 유역평균 강우량과 가장 근사한 값을 기록한 것으로 나타났다. 이를 토대로 2000년과 2001년을 가뭄발생년도로 2002년을 평년으로 가정하였으며, 시기별 MODIS 영상자료 및 64일 누가강우량의 변화를 비교하였다.

그림 8과 9는 MODIS 자료 제공 주기에 따라 16일 단위로 작성된 2000년, 2001년, 2002년 NDVI, LSWI, LST 및 이들 자료와 가장 높은 상관성을 갖는 것으로 나타난 64일 누가강우량의 변화를 비교한 결과로 NDVI와 LSWI는 가뭄의 영향으로 인한 식생과 지표면 수분 부족을 반영하는 것으로 나타났다. 그러나 LST의 경우 NDVI 및 LSWI에 비해 가뭄시기와 비 가뭄시기의 구별이 어려웠으며 누가 강우량에 따른 변화패턴 역시 일정하지 않았다. NDVI는 LSWI에 비해 큰 값을 갖으나 식생의 활력이 크지 않은 3월에서, 4월 초에는

가뭄시기와 평년의 차가 크지 않았다. 반면 LSWI는 가뭄에 대한 반응이 빠르고 가뭄심도에 따른 반응이 크게 나타나므로 봄 가뭄을 평가하기 위한 적절한 지표로 판단되었다.

가뭄사상별로 비교한 결과 2000년 가뭄은 겨울철에서부터 이어진 강수부족으로 인해 5월 중순까지 2001년보다 가뭄심도가 크게 나타나고 있으나 2001년의 경우에는 1월과 2월에 내린 강설량의 영향으로 물 부족에 의한 식생의 영향이 4월 이후 반영되는 것으로 나타났다. 그러나 2001년의 경우 5월 중순에서 6월초의 기간에 물 부족으로 인한 가뭄의 체감 심도가 컸음에도 불구하고 동일 시기의 NDVI, LSWI는 이를 적절히 반영하지 못하고 있는 것으로 판단된다. 64일 누가강우량은 5월 9일(안성천)과 4월 23일(남한강 상류)을 전후하여 2001년의 가뭄심도가 2000년보다 크게 나타나지만 NDVI 및 LSWI는 5월 25일 이후에 이를 반영하는 것으로 나타났다. 이를 토대로 MODIS 영상자료는 가뭄 시기의 판별에는 유효하나 가뭄사상별 심도와 지속기간을 판단하기 위해서는 기준이 되는 강우량 및 가뭄지수와와의 비교가 필요할 것으로 판단된다.

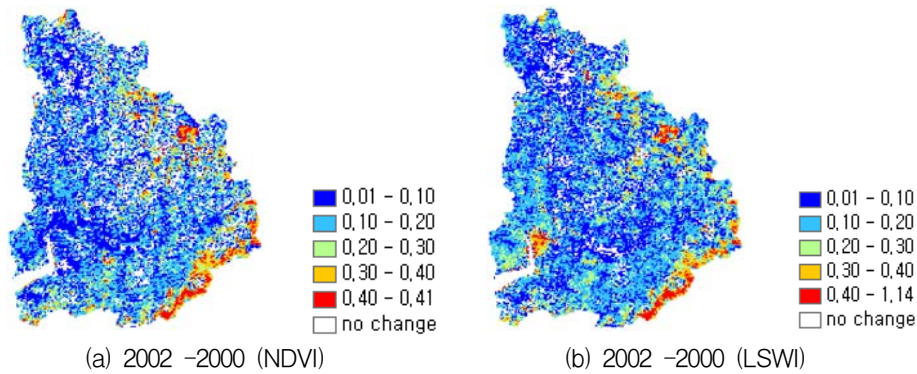


FIGURE 10. 이미지 연산 결과 (안성천 유역 4월 7일)

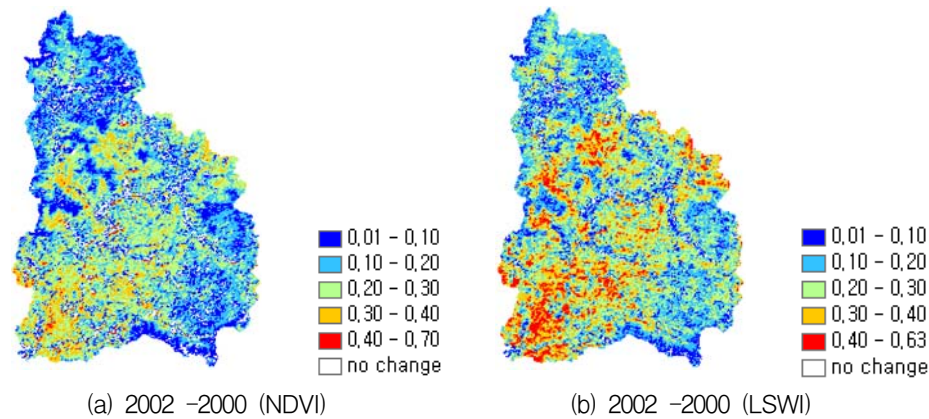


FIGURE 11. 이미지 연산 결과 (남한강 상류 유역 4월 23일)

### 3. 가뭄발생지역의 공간특성 분석

가뭄에 의한 물 부족 현상은 식생 성장에 영향을 미치며 평년과 가뭄시기의 동일 픽셀을 비교하여 가뭄의 영향을 유추할 수 있다. 본 연구에서는 평년-가뭄발생년도의 이미지 연산을 수행하였으며 평년으로 가정한 2002년 위성자료를 2000년, 2001년 영상과 연산하여 MODIS 영상자료들의 변화 분포도를 작성하였다. 이미지 연산에는 가뭄시기의 구별이 뚜렷하지 않으며, 누가강우량과의 상관성이 크지 않은 LST를 제외한 NDVI와 LSWI를 활용하

였으며 가뭄시기와 평년의 가뭄심도의 차가 큰 시점을 선정하여 비교하였다. 안성천 유역의 경우 4월 7일 자료를, 남한강 상류 유역의 경우 4월 23일 자료를 사용하였다.

비교결과 2002년-2000년의 변화지역과 2002년-2001년의 변화지역은 유사하며, LSWI가 NDVI에 비해 더 큰 변화를 보이는 것으로 나타났다. 그림 10과 11은 2002년과 2000년의 이미지 연산결과로 0과 음수로 표현되는 지역은 변화가 없는 지역으로 간주하였으며 변화지역은 0.1 단위로 등급화하여 표현하였다. 본 연구에서는 공간적으로 큰 변이를 보이는 2002-2000년 LSWI 이미지 연산결과를 토지피복중분류도 및

TABLE 7. 안성천 유역의 DEM, 토지피복도 등급화

DEM Class	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6
고도(m)	4-93	94-182	183-271	272-361	362-450	451-540
유역 총 면적대비 %	76.2%	15.9%	5.3%	1.9%	0.6%	0.1%

토지피복 Class	논	밭	과수원	초지	침엽수	활엽수	혼효림	기타
유역 총 면적대비 %	30.8%	9.5%	3.2%	2.4%	14.7%	6.6%	11.0%	21.8%

TABLE 8. 남한강 상류유역의 DEM, 토지피복도 등급화

DEM Class	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6
고도(m)	190-417	418-646	647-874	875-1102	1103-1331	1332-1560
유역 총 면적대비 %	8.9%	25.0%	39.0%	22.0%	5.5%	0.5%

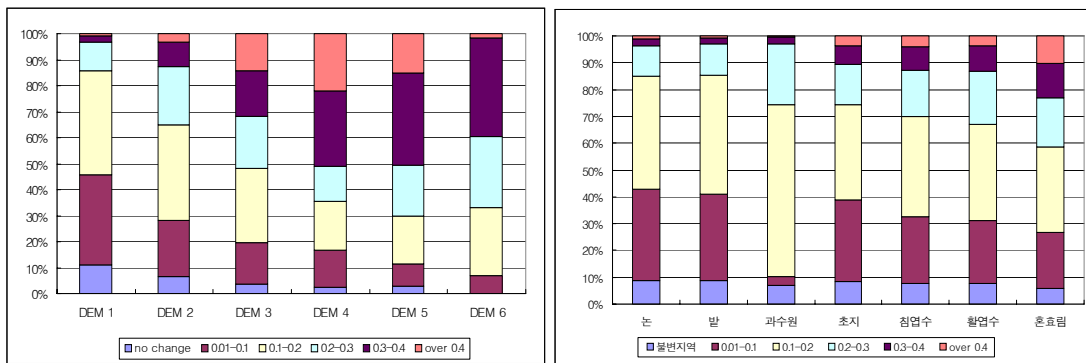
토지피복 Class	논	밭	기타 재배지	침엽수	활엽수	혼효림	기타
유역 총 면적대비 %	1.0%	8.8%	0.9%	38.2%	28.1%	19.4%	3.6%

DEM, 수치임상도와 같은 지형 공간 자료와 비교하여 가뭄에 큰 영향을 받는 지역이 어떤 공간특성을 갖고 있는가를 분석하였다.

이미지 연산결과를 토지피복도 대분류와 비교한 결과 농경지의 수분지수 변화가 낮은 반면 산림지역의 변화는 큰 것으로 나타났다. 이를 좀 더 정량적으로 분석하기 위해 공간자료를 표 7,8과 같이 고도별, 피복별로 등급화하여 LSWI 변화지역과 그리드 연산을 실시하였다. 토지피복 분류 항목 중 산림 수종의 분류는 산림청의 수치임상도 자료를 활용하여 비교하였다.

그림 12와 13은 고도와 토지피복에 따른 2002년-2000년 LSWI의 변화 비율로 각각의 DEM, 토지피복 등급별로 LSWI의 변화율을 표현하였다. 안성천 유역 LSWI 변화분포도의 평균은 0.13, 남한강 유역은 0.2이며 no change~0.2의 범위는 변화가 작은 지역으로 0.2~0.4 이상의 범위는 변화가 큰 지역으로 가정하고 각각의 클래스를 분석하였다.

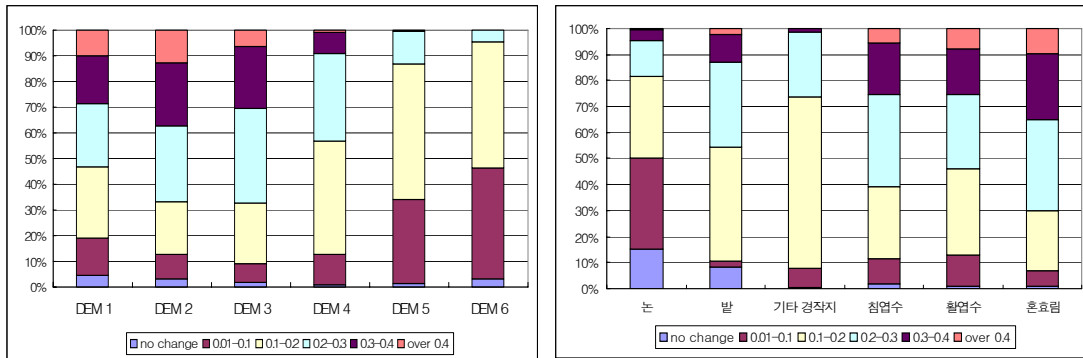
평균고도가 70m인 안성천 유역의 경우 고도가 높아질수록 수분지수의 변화가 커지는 패턴을 나타내고 있으나 평균 고도가 약 745m인



(a) 고도에 따른 LSWI 변화율

(b) 토지피복에 따른 LSWI 변화율

FIGURE 12. DEM 및 토지피복에 따른 LSWI 변화율 (안성천 유역)



(a) 고도에 따른 LSWI 변화율

(b) 토지피복에 따른 LSWI 변화율

FIGURE 13. DEM 및 토지피복에 따른 LSWI 변화율 (남한강 상류 유역)

남한강 상류유역의 경우 일정고도(647m-874m)까지는 고도에 따라 수분지수의 변화가 커지고 있으나 고지대로 갈수록 수분지수가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 토지피복에 대한 분석결과 두 유역 모두 논외의 변화 비율이 가

장 낮게 나타났으며, 산림의 변화가 크게 나타났다. 다양한 토지피복인자를 갖는 안성천 유역의 경우 산림>과수원, 초지>논, 밭의 순서로 가뭄에 대한 영향을 받는 것으로 나타났으나 고도에 비해 토지피복에 따른 변화는 크지 않

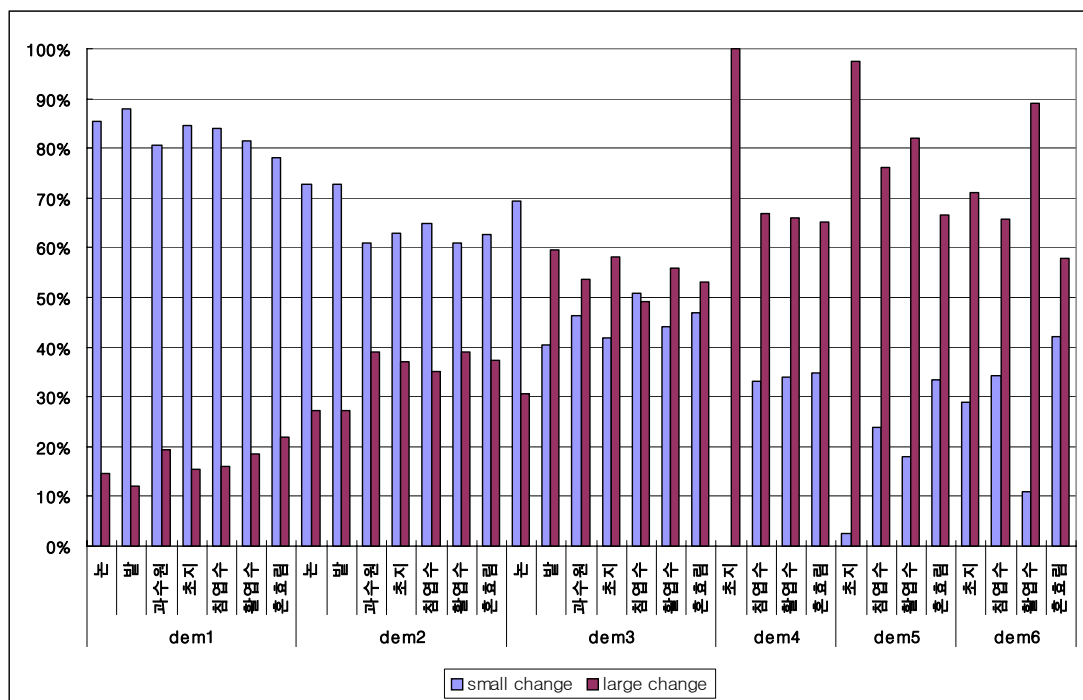


FIGURE 14. DEM과 토지피복에 따른 LSWI 변화율 (안성천 유역)

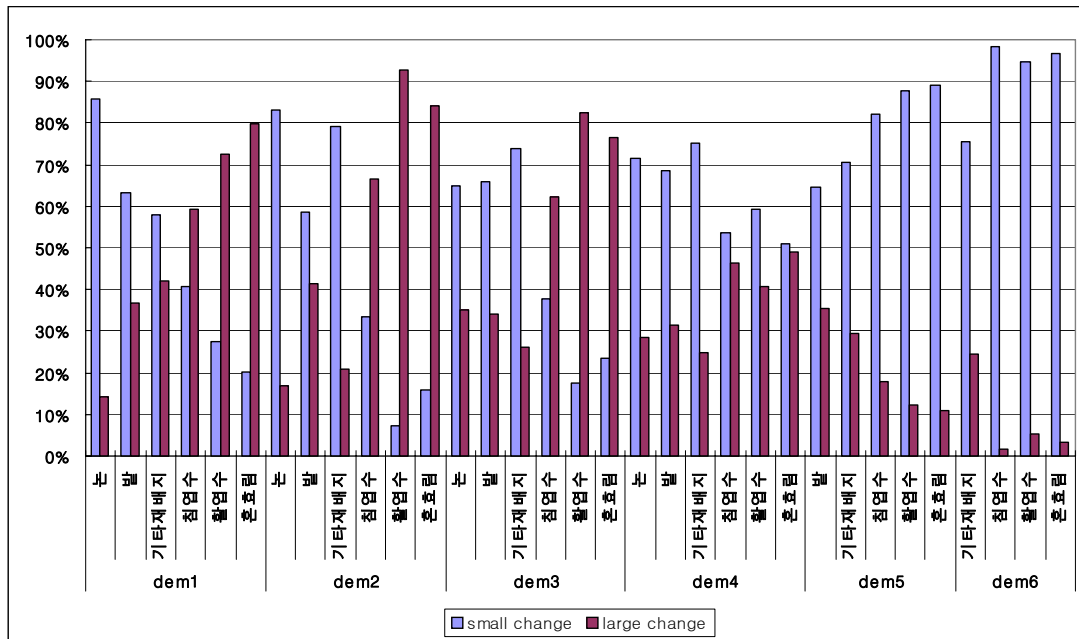


FIGURE 15. DEM과 토지피복에 따른 LSWI 변화율 (남한강 상류 유역)

은 것으로 나타났다. 반면 남한강 상류유역의 경우에는 산림>밭> 기타 경작지> 논 순서로 가뭄의 영향을 받는 것으로 나타났으며 혼효림과 침엽수림의 변화가 크게 나타났다.

그림 14과 15에서는 LSWI 변화등급을 변화가 큰 지역과 작은 지역으로 단순화하여 고도와 토지피복을 고려한 LSWI 변화 패턴을 제시하였다. 안성천 유역의 경우 농경지, 밭, 과수원 등은 360m 이하의 저지대에 위치하는 것으로 나타났으며, 고도가 증가함에 따라 각 토지피복 인자별 LSWI의 변화도 증가하였으며, 특히 초지와 활엽수의 증가율이 두드러지게 나타났다. 남한강 상류유역의 경우 일정 고도 이상에서 가뭄에 대한 영향은 줄어드는 것으로 나타났으며, 활엽수림 및 혼효림 피복이 고도에 따른 가뭄의 영향이 큰 것으로 나타났다.

### 결론

본 연구에서는 2000년 들어 남부지방을 중심


으로 심화되고 있는 봄 가뭄을 탐지하고 평가하기 위하여 안성천 유역과 남한강 상류유역을 대상으로 다중시기의 MODIS 영상과 누가 강우량의 변화를 비교하였으며, 가뭄발생년도와 평년의 변화탐지 결과를 다양한 지형 공간 자료와 비교하였다. 이를 위하여 일 강우량 및 MODIS NDVI, LST, LSWI 등의 위성영상 자료와 DEM, 토지피복도 등의 지형 공간자료를 활용하였으며 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째: 2000년 이후 발생하고 있는 남한의 봄 가뭄이 단기간의 강우부족에 의한 기상학적 가뭄임을 고려하여 강우량 및 누가강우량과 MODIS 영상자료간의 상관성을 비교하였으며 연구결과 약 2개월(64일)의 누가강우량이 MODIS NDVI, LSWI와 가장 높은 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 안성천 유역의 상관계수가 0.78내외, 남한강 상류유역이 0.58내외로 상관성이 높게 나타나지는 않았으나 2000년~2005년의 변화추이는 유사하게 나타났다.

둘째: MODIS 영상 자료를 이용한 가뭄발생 년도와 평년의 가뭄평가 결과 MODIS NDVI, LSWI는 가뭄시기의 판별에는 유효하나 가뭄 사상별 심도와 지속기간을 판단하기에는 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다. 또한 MODIS LST의 경우 한반도 온대기후대에서 봄 가뭄을 판별하기 위한 도구로 활용성이 크지 않은 것으로 나타났다.

셋째: 지역의 공간적 특성을 MODIS 영상자료들의 변화탐지 결과와 비교한 결과 식생을 기초로 한 MODIS 영상자료들의 경우 고도 및 토지피복에 따라 가뭄심도가 달라지는 것으로 나타났다. 농경지 및 밭의 경우 변화가 크지 않은 반면, 산림의 변화는 큰 것으로 확인되었다. 또한 동일피복의 경우 일정고도까지는 고도가 높아짐에 따라 가뭄심도가 커지는 것으로 나타났다. 평년대비 봄철 누가 강우량 비는 안성천 유역이 남한강 상류유역에 비해 약 2배정도 낮은 값을 갖으나 MODIS 영상자료 이미지 연산결과 남한강 상류유역의 가뭄심도가 크게 나타났으며 이는 두 유역의 식생분포 및 식생 성장에 영향을 미치는 고도의 영향으로 판단된다. 이를 토대로 위성영상자료를 이용한 가뭄평가 시 식생의 시공간적 특성을 고려하여 동일시기 및 동일공간에 대한 분석이 요구된다.

### 감사의 글

본 연구는 공공기술연구회의 일반연구사업 (사업명 : 위성자료 공공활용 연구-위성영상을 이용한 하천정보생산 및 활용에 관한 연구)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다. 

### 참고 문헌

김철준, 2003. 식생지수를 이용한 가뭄발생 위험도 감시. 안동대학교 대학원 석사학위논문.  
 박선엽, 2003. 미중부 대평원지역의 기후학적 수분수지 파악을 위한 MODIS 지표복사온도 자

료 분석. 지리학연구 37(3):257-271.  
 신사철, 정수, 김경탁, 김주훈, 박정술, 2006. NDVI를 이용한 가뭄지역 검출 및 부족수분량 산정. 한국지리정보학회 9(2):102-114.  
 신수현, 2005. 다중시기 정규식생지수를 이용한 가뭄지수의 한반도 적용성 분석. 인하대학교 대학원 석사학위논문.  
 최영진, 1995. 가뭄의 원인과 예측. 한국수자원학회지 28(1): 16-20.  
 한국수자원공사, 한국건설기술연구원 2002. 가뭄관리 종합대책 수립연구 보고서.  
 Huete, A.R., C. Justice and Wim van Leeuwen, 1999. MODIS Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document Version 3.  
 Huete, A.R., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao and L.G. Ferreira, 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment 83:195-213.  
 Ji, L. and A.J. Peters. 1998. Assessing vegetataion response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. Remote Sensing of Environment 87:85-98.  
 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.N. 1997. Global drought watch from space. Bulletin of the American Meteorological Society 78:621-636.  
 Lyon, J.G., D. Yuan, R.S. Lunetta and C.D. Elvidge. 1998. A Change Detection Experiment Using Vegetation Indices. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 64:143-150.  
 McVicar, T.R., and D. L. B. JUPP. 1998. The current and potential operational use of remote sensing to aid decision on drought exceptional circumstances in Australia: a review. Agricultural System 57:399-468.



- McVicar, T.R., P.N. Bierwirth. 2001. Rapidly assessing the 1997 drought in Papua New Guinea using composite AVHRR imagery. *International Journal of Remote Sensing* 22 (11):2109-2128.
- Peters, A.J., Walter-Shea, E.A., Ji, L., Vina, A., Hayes, M., Svoboda, M. R. 2002. Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 68(1):71-75.
- Wan, Z., P. Wang. and X. Li. 2004. Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index products for monitoring drought in the southern Great Plains USA. *International Journal of Remote sensing* 25(1):61-72.
- Wan, Z., Y. Zhang, Q. Zhang and J.I. Li. 2002. Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. *Remote Sensing of Environment* 83:163-180.
- Xiao, X., S. Boles, S. Frolking, W. Salas, B. Moore and C. Li et al. 2002. Landscape-scale characterization of cropland in China using Vegetation and Landsat TM images. *International Journal of Remote Sensing* 23:3579-3594. [KAGIS](#)