

위성영상을 이용한 기후변화에 따른 미래 식생정보 예측 기법 제안*

하림¹ · 신형진² · 김성준^{3*}

Proposal of Prediction Technique for Future Vegetation Information by Climate Change using Satellite Image*

Rim HA · Hyung-Jin SHIN² · Seong-Joon KIM^{3*}

요 약

지구상에서 육지 표면의 76%를 차지하고 있는 식생은 기후 변화와 관련하여 지역 부존 수 자원과 환경 및 생태학적 시스템에 큰 변화를 가져올 수 있다. 본 연구에서는 위성 영상을 통해 추출된 NDVI를 통해 미래 식생정보를 예측하고자 넓은 지역에 대한 식생 피복의 파악이 용이한 NOAA 위성의 AVHRR 센서(1994년~2004년)와 Terra 위성의 MODIS 센서(2000년~2004년)로부터 얻을 수 있는 월별 정규화 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)를 통하여 현 식생정보를 정량화하였다. 5년 동안의 NDVI 값은 NOAA보다 MODIS가 전체적으로 20% 정도 높게 추출되었다. 이로부터 국내 5대강 유역의 토지피복별 NDVI와 월 평균 기상인자(평균기온, 최고기온, 최저기온, 강수량, 일조시간, 풍속, 습도) 사이의 상관관계를 분석하였으며, NDVI는 평균기온과 상관성이 높은 것으로 판단되었다. 상관분석 결과 얻어진 NDVI-기온 선형 회귀식을 이용하여 기후변화 시나리오의 CCCma CGCM2 모의 결과 값으로부터 토지피복에 따른 미래 NDVI를 추정 하였다. NOAA NDVI에 의해 추정 된 미래 식생정보는 현재의 NDVI 최대치와 큰 차이를 보이지 않았지만, 현재 7월에서 8월 사이 최고에 이르렀다가 9월부터 감소하는 NDVI값이 미래에는 10월까지도 높게 지속되는 경향을 보였다. MODIS NDVI에 의해 추정 된 미래 식생정보는 7월에서 8월 사이에 현재보다 약 5% 정도 증가하는 경향을 보였다.

주요어 : NOAA AVHRR, Terra MODIS, 정규화 식생지수(NDVI), 기상자료

2007년 7월 31일 접수 Received on July 31, 2007 / 2007년 9월 12일 심사완료 Accepted on September 12, 2007

* 이 연구는 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행되었습니다. (No. R01-2006-000-10343-0)

1 건국대학교 일반대학원 사회환경시스템공학과 석사과정 Dept. of Civil and Env. System Eng. Konkuk University

2 건국대학교 일반대학원 사회환경시스템공학과 박사과정 Dept. of Civil and Env. System Eng. Konkuk University

3 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수 Associate Professor, Dept. of Civil and Env. System Eng. Konkuk University

※ 연락처자 E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

ABSTRACT

The vegetation area that occupies 76% in land surface of the earth can give a considerable impact on water resources, environment and ecological system by future climate change. The purpose of this study is to predict future vegetation cover information from NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) extracted from satellite images. Current vegetation information was prepared from monthly NDVI (March to November) extracted from NOAA AVHRR (1994 - 2004) and Terra MODIS (2000 - 2004) satellite images. The NDVI values of MODIS for 5 years were 20% higher than those of NOAA. The interrelation between NDVIs and monthly averaged climate factors (daily mean, maximum and minimum temperature, rainfall, sunshine hour, wind velocity, and relative humidity) for 5 river basins of South Korea showed that the monthly NDVIs had high relationship with monthly averaged temperature. By linear regression, the future NDVIs were estimated using the future mean temperature of CCCma CGCM2 A2 and B2 climate change scenario. The future vegetation information by NOAA NDVI showed little difference in peak value of NDVI, but the peak time was shifted from July to August and maintained high NDVIs to October while the present NDVI decrease from September. The future MODIS NDVIs showed about 5% increase comparing with the present NDVIs from July to August.

KEYWORDS : NOAA AVHRR, Terra MODIS, NDVI, Climate

서론

최근 각 분야에서는 우리나라에서 빈번히 발생하고 있는 기상이변과 함께 속출되는 홍수, 태풍 및 가뭄 등 자연재해에 대한 예측과 대비를 위해 끊임없이 노력하고 있다. 지구 온난화로 인한 기후변화는 온도, 강수, 운량 및 복사량 등 수문기상뿐만 아니라 식생분포, 토지피복상황 등에 크게 영향을 주고 있으며, 이는 수문순환과정과 관련하여 미래 수자원분야에 까지 많은 영향을 줄 것이다. 선진국에서 수행한 대부분의 기후변화 연구에는 수자원분야의 영향 평가가 포함되어 있으며, 독일, 미국 및 일본 등은 지구 온난화에 따른 기후변화가 생태계에 미치는 영향을 모형화 하여 국토이용기술과 GCM (General Circulation Model) 개발 연구에 접합하여 GIS기반의 수자원 모형의 이용과 예측 시스템을 잘 활용하고 있다. 작은 기후 변동으로도 과거와는 다른 양상으로 수문순환과정의 변화가 일어날 수

있지만, 우리나라 수자원 계획은 미래의 지형 및 수문 조건이 과거와 같다는 가정 하에 이루어져 왔다. 따라서 미래의 토지이용변화와 식생변화 및 기상변화를 예측하고, 이에 따른 수문 환경의 변화에 대한 예측과, 이러한 변화가 유출 특성에 미치는 영향을 규명할 필요가 있다.

기상요소와 관련하여 변화되는 식생정보는 준 분포형 수문모형에 입력되어 유출변화 해석에 유용하며, 미래 수문순환 변화를 예측하기 위한 기초자료로 활용 될 것이다. 따라서 식생의 변화 분석과 지표환경을 효과적으로 분석하기 위해 원격탐사 기법이 매우 유용하게 사용되고 있으며, 이는 시계열적인 공간 변화에 대한 신속하고 정확한 정보 확보 및 처리를 가능하게 한다.

국내에서는 가뭄 홍수 등의 재해현상에 대한 파악을 위해 NOAA 위성영상으로부터 추출된 식생 및 증발산량 자료를 이용하여 기후학적 물수지를 분석한 연구가 발표된 바 있

다(권형중 등, 2005). 또한 토지피복 변화에 따른 식생지수(NDVI)의 분포나 변화에 관한 연구(성효현 등, 2000)에 원격탐사 기법을 사용하거나, NDVI 및 기온정보를 조합한 증발산량을 산정하는데 NOAA AVHRR 위성자료로부터 얻어지는 NDVI를 활용하였다(신사철 등, 2006). 김광섭 등(2005)은 도시화 등의 환경변화에 따른 지역기후변화 특성을 분석하기 위해 NDVI 값의 변화 추세를 비교 분석 하였다.

국외에서는 AVHRR 위성 영상으로부터 추출된 NDVI와 지표 온도 값의 변화를 분석하여 산불 위험지역을 추정하였으며(Brigitte et al, 2006), 미국을 대상으로 NOAA/AVHRR NDVI 자료를 이용하여 2주 단위로 식생의 시계열적 변화를 모니터링하였다(Eindenshink et al, 1992). Kevin Gallo 등은 다른 형식의 NOAA와 MODIS 영상을 비교하는 연구를 수행하였으며, 위성영상을 이용하여 해안 습지의 변화를 파악하고 분석하는 방법도 오래전부터 연구되어 왔다(Jensen et al, 1987; Jensen et al, 1993; Wheeler, 1993; Green et al, 1994).

시계열적인 NDVI 추출에 있어서 촬영주기가 짧아 변화 분석에 유용하게 사용되는 위성 영상으로는 미국 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration : NOAA)에 의해 운영되고 있는 NOAA 위성의 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 센서와 미국 우주항공국(NASA)이 추진하고 범지구 환경모니터링(Earth Observing System : EOS) 프로그램의 일환으로 미국 Vandenberg 공군기지에서 발사된 TERRA 위성에 탑재된 MODIS 센서가 있다. AVHRR 센서는 저렴한 비용으로 단시간에 대단히 넓은 지역의 정보를 처리할 수 있는 장점이 있으나, 다른 위성 영상들에 비해 비교적 낮은 해상도를 가지므로 자세한 식생 정보 분류 및 변화 분석에는 한계가 있으며, 센서의 우리나라 영상 촬영 주기가 구름 및 안개의 영향을 가장 많이 받는 아침저녁 시간이기 때문에 정확한 데이터를 얻기 힘들다. 이에 비해 MODIS (Moderate

Resolution Imaging Spectro-Radiometer) 센서는 AVHRR 센서에 비해 다양한 파장대 영상을 얻을 수 있고, 보다 획기적으로 향상된 공간 해상도를 가지며, 자료 획득이 쉬워 식생 변화를 비롯한 각 분야에서의 활용도와 분석 정확도가 높을 것으로 예상된다.

본 연구에서는 NOAA와 MODIS 센서에 의한 영상에서 추출된 식생정보의 차이점을 비교분석하고, 정확도 높은 식생정보와 기상인자간의 상관성을 이용하여 미래 기후변화에 따른 식생분포 변화를 예측하고자 두 영상을 이용하여 추출된 NDVI를 통해 현 식생 정보를 정량화 하였다. 또한 식생변화에 영향을 미치는 기상인자를 판별하여 미래 식생정보 예측을 위한 관계식을 도출하고자 전국 76개 기상관측소 데이터를 통해 보간된 월평균 기상자료들과의 상관관계 분석을 실시하였다. 분석결과 검증된 기상인자와 NDVI 간의 상관회귀식을 통해 5대강 권역별 토지피복에 따른 미래 NDVI를 추정하였으며, 차이를 보이는 각각의 영상에 의한 결과 값을 비교 분석 하였다.

연구방법

먼저 1994년부터 2004년 기간 동안의 NOAA 위성자료와 2000년부터 2004년 기간 동안의 MODIS 위성자료 및 2000년 환경부 토지피복도를 이용하여 5대강 권역별 토지피복에 따른 월평균 NDVI를 추출한 후, 각 연도별 NDVI 패턴을 보정하였다. 다음으로 NDVI와 권역별로 추출된 7가지 기상자료 간의 상관관계를 통계분석하여, 분석결과 NDVI와 높은 상관성을 보인 기상인자와의 선형 회귀식을 통하여 미래 NDVI를 예측하였다.

예측 시 미래 기온자료는 SRES 기후변화 시나리오의 CCCma CGCM2 모의 결과 값을 사용하였으며, 예측된 미래 식생정보 값은 NOAA 영상을 통해 추출된 NDVI 값과 MODIS 영상을 통해 추출된 NDVI 값의 차이를 보이

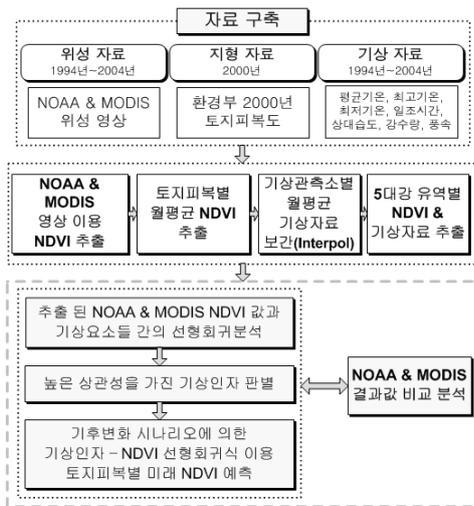


FIGURE 1. 연구 내용 및 분석 절차

므로, 이를 비교 분석 하였다.

본 연구의 내용 및 분석절차는 순서도는 그림 1과 같다.

1. 연구대상지역 및 자료 구축

1960년대 이래 원격탐사 자료들로부터 식물의 생물리화학적 특성을 나타내는 다양한 인자들을 밝혀내고자 많은 노력을 해 왔으며, 이러한 노력의 대부분은 식생지수의 개발로 이루어져 왔다. 식생지수는 단위가 없는 복사 값으로 녹색식물의 상대적인 분포량과 활동성, 엽록소 함량 및 엽량 등과 관련된 자료로 활용되고 있다. 현재까지 식생 상태(활력도)를 평가하는 지표로 약 20개 정도의 식생지수가 활용되고 있는데, 가장 보편적인 지표로 사용되는 NDVI는 -1~1 사이 값을 가지며, 1에 가까울수록 식물의 활성도가 높은 것을 의미한다.

식생은 수문순환 과정에 있어서 유출량 변화에 많은 영향을 주며, 기후변화에 영향을 받아 변화하기 때문에 식생 변화양상에 대한 정확한 파악이 무엇보다 중요할 것으로 판단된다.

본 연구의 대상지역은 남한전체로, 그림 2.

에 보이는 바와 같이 5대강 유역인 한강, 금강, 낙동강, 섬진강과 영산강 유역별로 NOAA, MODIS 영상을 통해 토지피복에 따른 NDVI를 추출하여 현 식생 정보를 정량화 하였다.

NOAA AVHRR 센서는 화소당 1.1km × 1.1km의 공간해상도를 가지며, 0.58μm와 12.5μm 파장대 사이에서 총 5개의 채널을 이용하여 2,700km의 폭을 하루에 두번 관측하게 되는데, 이로 인한 NDVI 값은 1994년부터 2004년 기간 동안의 영상을 이용하여 아래 수식(1)을 통해 산출하였다. 일자료를 이용하여 한 달간격으로 모든 영상에서 구름의 영향을 최소화하기 위하여 각 영상의 NDVI 최대값만을 추출하여 그 달의 대표 영상으로 사용하였으며, 1994년~2004년 기간 동안의 비교적 구름, 적설 및 용설 등의 영향이 적은 3월~11월 자료를 이용하였다.

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

여기서, CH.1은 채널1(가시광선 영역)의 반사율을, CH.2는 채널2(근적외선 영역)의 반사율을 의미한다.

NOAA AVHRR 영상을 이용한 결과값 비교 가능한 Terra MODIS 영상은 12비트(AVHRR은 10비트)로 양자화 되며, 0.405μm와 14.385μm 파장대 사이에서 총36개의 분광 밴드를 이용하여 2,330km의 폭을 1~2일마다 관측하게 되며, 여기서 NDVI는 2000년부터 2004년 기간 동안의 영상을 이용하여 아래 수식(2)을 통해 산출하였다. MODIS 영상은 EOS Data Gateway 사이트에서 처리 수준에 따라 Level 0부터 4까지 구분되는데, 적절한 영상전처리 과정을 거쳐 무료로 제공되고 있다. 본 연구에서는 Level 3에 해당하는 MOD13 자료를 사용하였다.

$$MODIS\ NDVI = \frac{X_{NIR} - X_{RED}}{X_{NIR} + X_{RED}} \quad (2)$$

여기서, X_{NIR} 은 근적외선 밴드의 반사율을, X_{RED} 은 적외선 밴드의 반사율을 의미한다.

토지피복에 따른 NDVI를 추출하기 위해 Landsat TM 위성영상을 사용하여 기하보정 등의 전처리 과정을 거쳐 8개의 항목(수역, 시가지, 나지, 습지, 초지, 산림, 논, 밭)으로 감속분류된 2000년 토지피복도를 적용하였다. 상기 유역에 대한 기상자료는 기상청에서 제공하는 전국 76개의 기상관측소에서 측정된 강수량, 상대습도, 일조시간, 최고기온, 최저기온, 평균기온과 풍속 자료이며, NDVI 자료 분석 기간과 동일한 1994년~2004년 기간 내 자료를 사용하였다.

2. 토지피복에 따른 월평균 NDVI 추출

토지피복별 NDVI와 기상자료들 간의 상관관계 분석을 위한 기초자료인 NDVI는 남한 전체를 대상으로 GIS 프로그램을 이용하여 1994년~2004년 기간 동안의 토지피복에 따른 월평균 NDVI를 추출하였다. 분석 결과, NDVI 패턴에서 많이 벗어난 원인은 급격한 기후변화나 극심한 가뭄(2001년) 또는 구름 등의 기

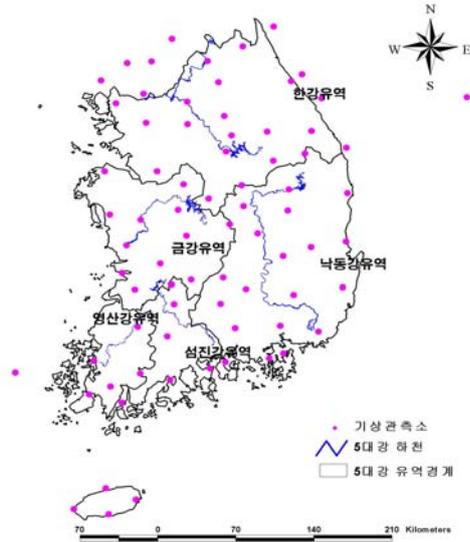
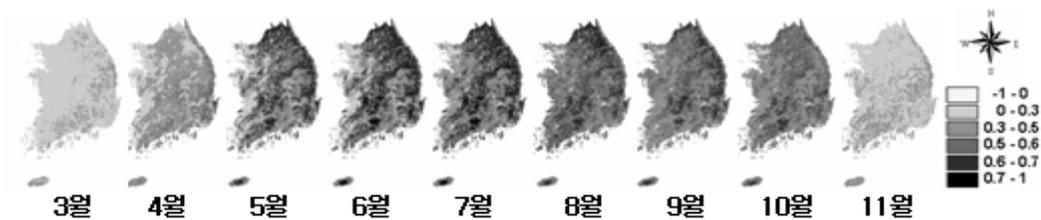
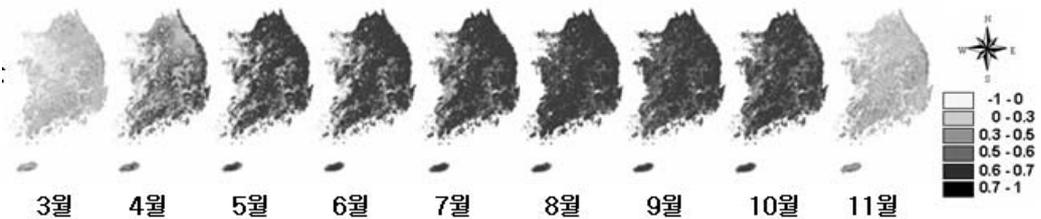


FIGURE 2. 대상 지역

상학적 요인으로 인해 정확도가 낮아진 영상을 이용하였기 때문에 사려 되어, 보정을 실시하였다. 실제로 2000년, 2001년은 극심한 가뭄 피해를 겪은 해로 다른 해에 비해 식생 활력도가 낮은 것을 확인할 수 있었다.



(a) NOAA AVHRR 영상을 이용하여 추출된 2000년 월별 NDVI



(b) Terra MODIS 영상을 이용하여 추출된 2000년 월별 NDVI

FIGURE 3. NOAA & MODIS NDVI 변화양상

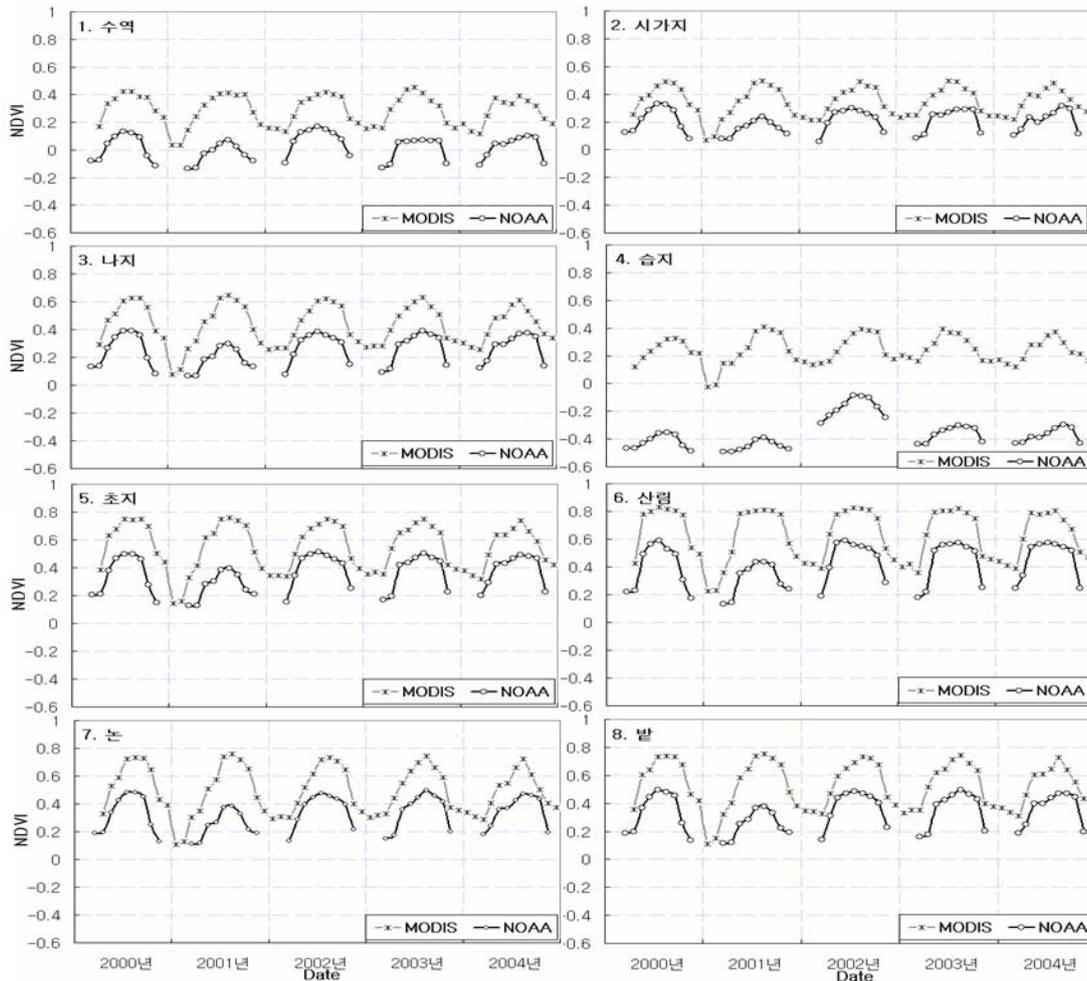


FIGURE 4. 한강 유역의 토지피복별 NOAA & MODIS NDVI 비교

NDVI 패턴이 매우 불규칙하여 보정이 힘든 1995년도와 1998년도 NOAA 영상은 분석에서 제외하였으며, 보정한 NDVI 영상을 이용하여 5대강 권역별로 토지피복에 따른 월평균 NDVI를 재구축 하였다(그림 3). 그 결과 평균적으로 0.2~0.3 정도의 차이를 보였는데, NOAA NDVI가 MODIS NDVI 값 보다 낮은 것을 확인할 수 있었다. 이는 해상도와 영상 촬영 주기의 차이, 대기 현상의 영향, 영상합성 및 NDVI 추출 알고리즘의 차이 등으로 인해 값의 차이를 보이는 것으로 판단되었다(그림 4).

3. NDVI와 기상자료 상관관계 분석

식생상태는 기상인자와 밀접한 관계가 있다는 점에 착안하여, 상관성 있는 기상인자들 중에서도 가장 상관성이 높은 기상인자를 확인하고자 NDVI와의 상관 분석을 실시하였다.

NOAA NDVI는 보정 시 제외시킨 1995년, 1998년 자료 외 1994년~2004년 기간 동안, MODIS NDVI는 2000년~2004년 기간 동안의 각 권역별 토지피복에 따른 NDVI와 기상자료(강수량, 상대습도, 일조시간, 최고기온, 최저기온, 평균기온, 풍속)간의 산점도를 그려

TABLE 1. 5대강 유역의 토지피복에 따른 NOAA & MODIS NDVI와 기상자료 간의 상관관계 분석 결과 비교

(a) 권역별 NOAA NDVI-기상자료 간의 결정계수(R^2)
 - 0.55 < < 0.6, 0.45 < < 0.55

(b) 권역별 MODIS NDVI-기상자료 간의 결정계수(R^2)
 - 0.7 < < 0.9, 0.55 < < 0.7

권역	Land use	강수량	상대 습도	일조 시간	최고기온	최저기온	평균기온	풍속
한강	습지	0.00	0.07	0.00	0.06	0.06	0.06	0.02
	초지	0.29	0.38	0.03	0.52	0.53	0.52	0.02
	산림	0.29	0.38	0.03	0.53	0.54	0.54	0.01
	논	0.31	0.44	0.05	0.54	0.56	0.54	0.02
밭	0.30	0.41	0.04	0.53	0.54	0.53	0.02	
낙동강	습지	0.25	0.43	0.07	0.53	0.54	0.54	0.04
	초지	0.24	0.41	0.11	0.45	0.46	0.46	0.04
	산림	0.27	0.35	0.07	0.46	0.45	0.46	0.03
	논	0.26	0.40	0.08	0.49	0.49	0.49	0.04
밭	0.26	0.41	0.08	0.50	0.50	0.50	0.04	
금강	습지	0.05	0.24	0.03	0.21	0.22	0.21	0.03
	초지	0.29	0.45	0.06	0.48	0.52	0.50	0.04
	산림	0.29	0.37	0.05	0.47	0.51	0.49	0.03
	논	0.29	0.49	0.06	0.51	0.55	0.53	0.04
밭	0.30	0.45	0.06	0.50	0.54	0.52	0.04	
섬진강	습지	0.15	0.09	0.00	0.17	0.17	0.16	0.01
	초지	0.28	0.44	0.05	0.48	0.50	0.47	0.02
	산림	0.27	0.42	0.04	0.46	0.48	0.45	0.01
	논	0.29	0.45	0.04	0.49	0.51	0.48	0.02
밭	0.28	0.43	0.05	0.46	0.48	0.45	0.02	
영산강	습지	0.00	0.06	0.00	0.06	0.06	0.07	0.00
	초지	0.29	0.45	0.02	0.51	0.50	0.50	0.02
	산림	0.29	0.42	0.02	0.49	0.47	0.47	0.02
	논	0.22	0.40	0.01	0.44	0.43	0.43	0.04
밭	0.20	0.35	0.02	0.38	0.37	0.37	0.03	

권역	Land use	강수량	상대 습도	일조 시간	최고기온	최저기온	평균기온	풍속
한강	습지	0.38	0.53	0.02	0.59	0.66	0.61	0.40
	초지	0.38	0.50	0.00	0.81	0.84	0.82	0.35
	산림	0.35	0.44	0.00	0.83	0.84	0.83	0.29
	논	0.44	0.57	0.01	0.79	0.84	0.81	0.38
밭	0.39	0.51	0.00	0.81	0.84	0.81	0.35	
낙동강	습지	0.49	0.76	0.09	0.82	0.89	0.85	0.35
	초지	0.43	0.72	0.06	0.85	0.87	0.86	0.35
	산림	0.37	0.64	0.03	0.80	0.81	0.81	0.33
	논	0.45	0.76	0.08	0.82	0.87	0.85	0.37
밭	0.47	0.78	0.10	0.80	0.87	0.83	0.37	
금강	습지	0.36	0.57	0.03	0.44	0.53	0.48	0.26
	초지	0.43	0.60	0.01	0.71	0.79	0.75	0.30
	산림	0.35	0.42	0.01	0.80	0.82	0.81	0.24
	논	0.44	0.62	0.01	0.67	0.76	0.71	0.28
밭	0.43	0.59	0.00	0.73	0.80	0.77	0.29	
섬진강	습지	0.42	0.45	0.05	0.48	0.57	0.53	0.15
	초지	0.38	0.61	0.00	0.82	0.85	0.83	0.32
	산림	0.36	0.56	0.00	0.83	0.84	0.83	0.32
	논	0.50	0.67	0.01	0.80	0.87	0.84	0.29
밭	0.41	0.61	0.00	0.82	0.85	0.84	0.31	
영산강	습지	0.45	0.51	0.02	0.50	0.60	0.55	0.28
	초지	0.47	0.55	0.00	0.76	0.82	0.79	0.41
	산림	0.40	0.50	0.00	0.80	0.84	0.82	0.43
	논	0.51	0.55	0.00	0.65	0.74	0.70	0.35
밭	0.51	0.57	0.00	0.75	0.82	0.79	0.40	

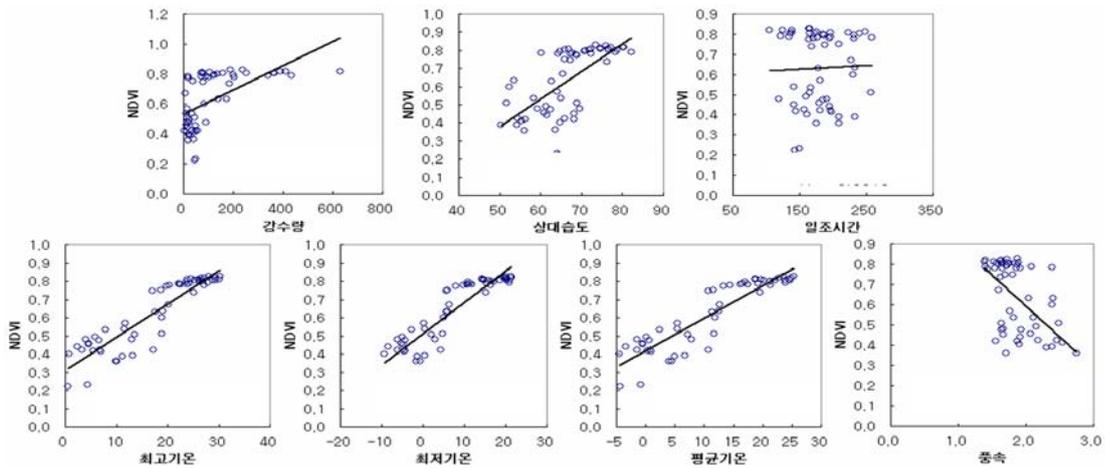


FIGURE 5. 한강 유역 산림지역의 NDVI와 기상자료(7개)간의 상관관계 분포형 그래프

산출된 결정계수(R2) 값으로 적합도를 검증하였다(그림 5).

수역, 시가지와 나지와 같은 식생이 주요피복이 되지 않은 지역에서 기상자료와 NDVI와의 상관성을 분석하는 것은 의미가 없다고 판단되어, 이를 제외한 각 권역별 5개의 토지피복(습지, 초지, 산림, 논, 밭)에 따른 월 평균 NDVI와 기상자료간의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 결정계수가 NOAA NDVI와는 0.5~0.6, MODIS NDVI와는 0.7~0.9 사이 값을 가지는 기온이 NDVI와 가장 높은 상관관계를 가지는 것으로 판단되었다. 기온 이외에 상대 습도와 강수량과의 상관관계에 있어서도 상관성이 있음을 확인할 수 있었으며, 기온과 MODIS NDVI와의 관계에 있어서는 상관성이 훨씬 높게 분석되었다(표 1).

4. 미래 NDVI 예측

결정계수가 0.7~0.9 사이의 값을 보이며 NDVI와 가장 높은 상관성을 보였던 기온인자를 이용하여 미래 NDVI를 추정하기 위해 상관 분석을 통해 회귀식을 도출하였다(표 2). NDVI를 종속변수로 하고, 기온을 독립변수로 하는 선형식에 미래 온도자료를 대입하여 NDVI를 추정하게 된다.

본 연구에서는 SRES 특별보고서에서 제안된 A2, B2 시나리오의 CCCma CGCM2 모의 온도 결과 값을 사용하여 토지피복에 따른 미

래 NDVI를 예측하였다(그림 6).

기후변화시나리오는 IS92a와 SRES 시나리오가 있으며, 현재 IPCC의 정보분배센터(Data Distribution Center)에서는 기후변화에 의한 일관된 영향연구를 위해 IS92a 및 SRES 시나리오에 의한 다수의 GCMs 결과들을 제공하고 있는데, SRES 기후변화 시나리오는 2002년 사회, 경제, 환경 등을 고려한 4가지 골격의 온실가스배출시나리오으로써 크게 A-B축(경제지향-환경지향), 1-2축(지구주의지향-지역주의지향)으로 분류된다.

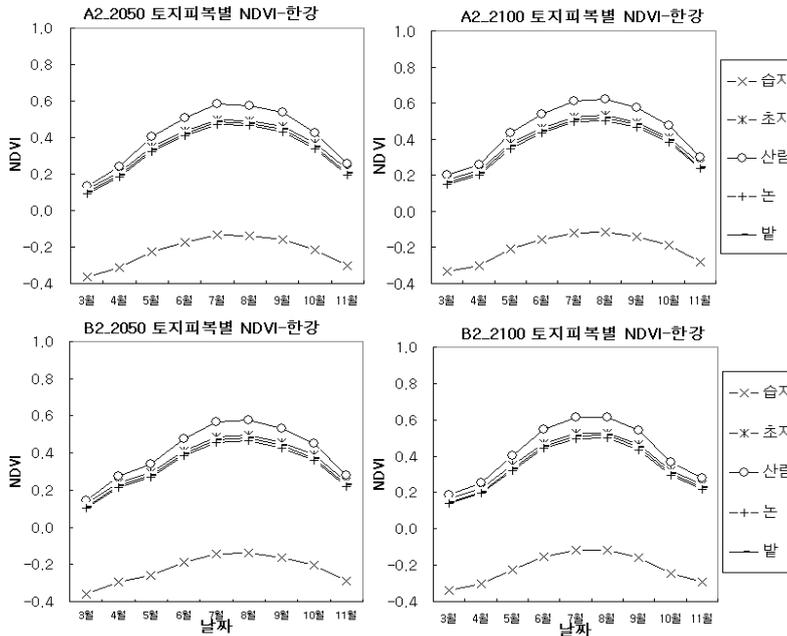
결과 및 고찰

NOAA 영상을 이용하여 예측된 미래 식생정보와 MODIS 영상을 이용하여 예측된 미래 식생정보를 비교해 본 결과, 미래 기후변화에 따라 추정된 미래 NDVI는 식생 활력도가 감소하기 시작하는 8월 이후 값부터 현재 NDVI와 큰 차이를 보였다.

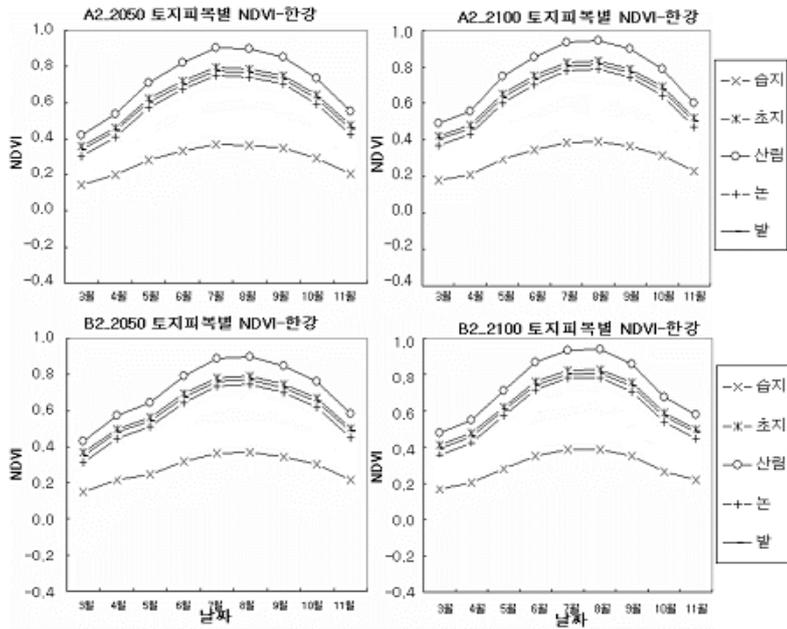
NOAA NDVI에 의해 추정된 식생은 2050년, 2100년 3~5월에 평균적으로 15% 감소하는 경향을 보였는데, A2 시나리오에 의한 2050년 3월 식생분포가 가장 큰 폭의 감소를 보였다. 2050년, 2100년 8~11월에는 평균적으로 오히려 11% 증가하는 경향을 보였는데, A2 시나리오에 의한 2100년 11월 식생분포가 가장 큰 폭의 증가를 보였다. 이는 미래 기온이 평균적으로 상승함으로 인해 식생이 지기

TABLE 2. 한강 유역의 NOAA & MODIS NDVI-온도 선형회귀식

Land use	NDVI-기온 선형회귀식		
	NOAA	MODIS	
한강 유역	습지	NDVI = 0.0086Temp - 0.3674	NDVI = 0.0084Temp + 0.1425
	초지	NDVI = 0.0141Temp + 0.1184	NDVI = 0.0163Temp + 0.3547
	산림	NDVI = 0.0168Temp + 0.1289	NDVI = 0.0180Temp + 0.4173
	논	NDVI = 0.0140Temp + 0.0931	NDVI = 0.0166Temp + 0.3010
	밭	NDVI = 0.0143Temp + 0.0988	NDVI = 0.0162Temp + 0.3369

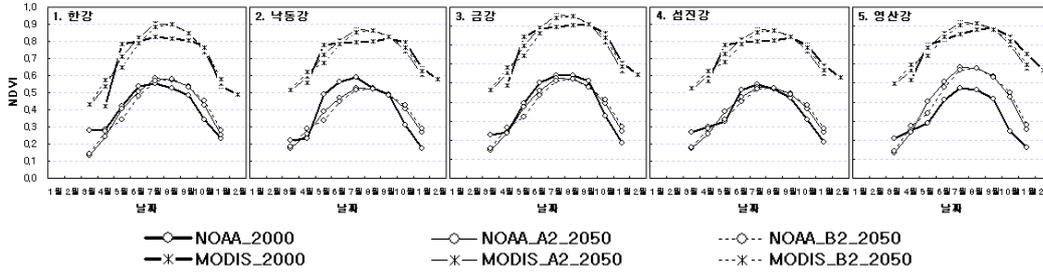


(a) A2, B2 시나리오 CCCma CGCM2 모의 결과 값과 을 통해 추정 된 NOAA NDVI

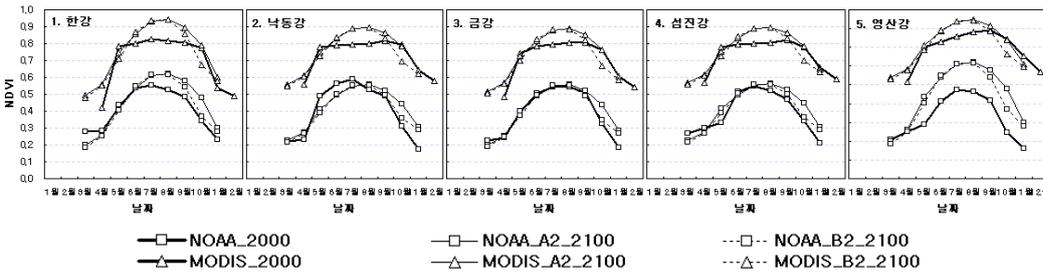


(b) A2, B2 시나리오 CCCma CGCM2 모의 결과 값과 을 통해 추정 된 MODIS NDVI

FIGURE 6. 온도-NDVI 간의 선형회귀식을 이용하여 기후변화 시나리오(SRES-A2, B2) CCCma CGCM2 모의 결과 값을 통해 예측된 한강유역 2050, 2100년 NOAA NDVI & MODIS NDVI 비교



(a) 2000년, 2050년 NOAA NDVI & MODIS NDVI 비교



(b) 2000년, 2100년 NOAA NDVI & MODIS NDVI 비교

FIGURE 7. 5대강 유역 각 산림 지역의 2000년, 2050년, 2100년 NOAA NDVI & MODIS NDVI 비교

시작하는 8월 이후에도 활력을 띄고 있으며, NDVI값이 감소하기 시작하는 9월 이후에도 NDVI값이 현재보다 높게 지속 될 것으로 추정되었다. MODIS NDVI에 의해 추정된 식생은 NOAA NDVI에 의해 추정된 양상과는 차이를 보이는데, 식생이 지기 시작하는 시기에는 큰 변화가 없지만 2050년, 2100년 6월~9월에 현재보다 평균적으로 5% 증가하는 경향을 보이며 식생 활력도가 높을 것으로 예측되었다(그림 7).

요약 및 결론

본 연구에서는 지표 환경을 구성하는 대표적인 생물적 요소인 식생에 영향을 미치는 여러 기상인자들 중 식생 변화양상과 상관성이 가장 높은 인자를 판별하여 미래 식생정보를 예측하고자 1994년~2004년 기간 동안의 월평균 강수량, 상대습도, 일조시간, 최고기온, 최

저기온, 평균기온, 풍속 자료와 NOAA 월평균 NDVI와 MODIS 월평균 NDVI 간의 상관관계를 분석하였다. 결과적으로 상관성이 매우 높게 분석된 기온과 NDVI와의 상관회귀식을 통하여 5대강 유역별 토지피복에 따른 미래 NDVI를 추정하였으며, 여기서 기온자료는 SRES-A2, B2 시나리오의 모의 결과 값을 사용하였다. 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. NOAA와 MODIS 영상을 이용하여 추출된 NDVI 전체적으로 20% 정도 차이를 보였으며, MODIS 결과가 더 높은 값을 보였다. 이는 NOAA 영상과 MODIS 영상에서 NDVI 추출 시 사용된 각각의 영상 합성 방법과 NDVI 추출 알고리즘의 차이, 센서의 공간해상도와 주사폭 및 촬영 주기의 차이 등으로 인한 것으로 판단된다.
2. NDVI와 온도자료간의 상관 결정계수를 통한 정확도 검증 결과 NOAA NDVI보

- 다 MODIS NDVI와의 관계에 있어 더 높은 상관성(NOAA NDVI-온도 간의 결정계수=0.5~0.6, MODIS NDVI-온도 간의 결정계수=0.7~0.9)을 보였다. 이는 MODIS가 NOAA보다 향상된 공간해상도(NOAA=1.1km, MODIS=250m)를 가졌으며, 더욱 넓은 범위의 파장대를 감지한 영상을 제공하기 때문에 분석에 있어 높은 상관성이 도출된 것으로 판단되었다.
3. 두 영상을 이용하여 분석된 NDVI 변화 양상의 차이로 인해 미래 식생정보 추정에도 차이를 보였는데, NOAA NDVI에 의한 결과 값은 2050년, 2100년 3~5월에는 현재보다 감소, 8~11월에는 현재보다 증가하는 경향을 보이는데, 이는 미래 기온상승으로 인해 식생이 지는 시기가 늦춰지면서 8월 이후에도 식생이 활력을 띄고 있을 것으로 예측된다. MODIS NDVI에 의한 결과 값은 2050, 2100년 6~9월에 현재보다 약 5% 정도 증가하는 경향을 보이는데 다른 달은 현재와 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있었다.
 4. 본 연구에서 사용된 영상은 구름 및 안개 등 기상조건의 영향을 최대한 줄이고자 각 영상에서 최대값만을 추출하여 합성한 월 대표 영상이기 때문에, 각 영상간의 자세한 비교를 위해서는 일 자료를 이용하여 시계열적인 분석을 할 필요가 있다고 판단된다. 이로 인해 기후가 변화함에 따라 식생이 변화하는 시기에 대한 분석과 공간적 변화 분석이 가능할 것이다.
 5. 식생은 기상조건이 따라 변화하기는 하나, 기후변화에 따른 식생 활성도의 변화는 반드시 해당 월에 나타난다고 볼 수 없다. 그러므로 추후 연구에는 변화 시기를 계절별로 세분화 하고, 해당 월의 앞뒤로 식생이 기상조건에 반응하는 시기, 즉 지체시간을 고려하여 연구해 볼 필요가 있다고 판단된다.

6. 또한 분석에 사용한 토지피복별 NDVI와 기상자료의 권역별 월평균 값은 산맥을 경계로 큰 동쪽 지역과 서쪽지역, 유역의 상류부와 하류부 등 지역적인 편차를 고려하지 않고 5대강 유역별로 평균한 값이므로 더욱 정확한 결과를 위해서는 대상 지역을 세분화하여 분석할 필요가 있다.
7. 예측된 NDVI값은 수자원분야에서의 향후 유출 해석 시 사용되는 모형의 입력 자료로 유용할 것이며, 이로 인한 가뭄, 홍수 및 산불 등 자연재해에 대한 예측 자료로 사용될 것이다. **KAGIS**

참고 문헌

- 김광섭, 임태경. 2005. 도시화 등 환경변화에 따른 지역기후변화 특성 분석. 한국수자원학회 05 학술발표회 논문집. 912-915쪽.
- 권형중, 신사철, 김성준. 2005. NOAA/AVHRR 위성영상을 이용한 기후학적 물수지 분석. 한국농공학회지 47(1):3-9.
- 성효현, 박옥준. 2000. 토지피복 변화에 따른 식생지수(NDVI)분포 및 변화에 관한 연구:성남시를 중심으로. 한국GIS학회지 8(2):275-288.
- 신사철, 정수, 김경탁, 김주훈, 박정술. 2006a. NDVI를 이용한 가뭄지역 검출 및 부족수분량 산정. 한국지리정보학회지 9(2):102-114.
- 신사철, 황만하, 고익환, 이상진. 2006b. 식생 및 기온정보를 조합한 증발산량 산정을 위한 간편법 제안. 한국수자원학회지 38(4):363-372.
- Brigitte Leblon, P.A.F.G., S.O., D.A. Maclean and M.F. 2006. Using cumulative NOAA-AVHRR spectral indices for estimating fire danger codes in northern boreal forests. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 3(9):335-342.
- Eidenshink, J.C. 1992. The 1990 Conterminus U.S. AVHRR Data Set. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 58(6): 809-813.

- Jensen, J.R., E.W. Ramsey, RE. Mackey, E.Christensen and R.Sharitz. 1987. Inland wetland change detection using aircraft MSS data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 53(5):521-529.
- Jensen, J.R., D.J. Cowen, S. Narumalani, J.D. Althausen and O. Weatherbee. 1993. An evaluation of coastal change detection protocol in South Carolina. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 59(6): 1039-1046.
- Wheeler, J.D. 1993. Commentary: linking environmental models with geographic information systems for global change Research. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 59(10):1497-1501.
- Green, L., D. Kempka and L. Lackey. 1994. Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 60(3): 331-337. 