

NOAA-AVHRR 자료로부터 유도된 남한지역 LAI 변화 분석

Analysis of the Variability of Leaf Area Index Derived From NOAA-AVHRR Satellite Image Data for South Korea

김광섭* 임태경**

Gwangseob Kim, TaeKyung Yim

요 지

지표와 대기사이에서 식물의 광합성 및 증발산 능력과 밀접하게 관련되어 있는 엽면적지수는 식생밀도를 나타낼때 사용되는 식생지수이다. 본 연구에서는 NOAA-AVHRR 자료를 사용한 엽면적지수를 사용하여 남한지역 엽면적지수의 시공간변화도와 주기성분석을 실시하였고 소양강댐유역, 안동댐유역과 주요 도시의 엽면적지수의 월별, 년별, 계절별 추세를 분석하였다. 추세분석결과 월추세 분석에서는 장기간의 뚜렷한 변동성을 나타내지는 않았지만 겨울과 봄 보다는 여름과 가을에 식생의 밀도가 더 높은 계절적인 요인에 많은 영향을 받는 것을 볼 수 있었다. 시간변화 분석결과 계절변화를 제외한 특별한 장기변동을 확인할 수 없었으며 엽면적지수의 공간 변화는 정규식생지수가 보여주는 지형이나 위도의 변화와 밀접한 관계를 가지는 변화양상을 보여주지 않았다. 이는 농지 및 삼림 등의 인위적 조성으로 인한 엽면적지수의 공간변화도 양상과 관계 있다 하겠다.

핵심용어 : 엽면적지수, Wavelet 분석, EOF 분석, NOAA-AVHRR

1. 서 론

최근에 인간활동 등에 의한 온실가스의 방출은 지구기후의 변화를 유발시키고 있다. 최근 20년 동안 세계 도처에서 목격되고 있는 기온과 강수량의 극단적인 변화는 이러한 기후변화가 지속적인 영향을 미치고 있다는 것을 보여주고 있는 증거라 하겠다. 이러한 변화는 인간사회와 경제뿐 아니라 생태계와 같은 자연환경에도 그 영향을 미칠 것이다. 이러한 기후변동성과의 관계를 분석하는 데 있어서 지표면의 76%를 차지하고 있고 지표와 대기사이의 광합성, 증산, CO₂ 농도, 에너지 교환 같은 생태순환과정에서 중요한 역할을 담당하고 있는 식생표면은 중요한 역할을 담당한다고 하겠다. 엽면적지수 Leaf Area Index(LAI)는 단위지표면적(m²) 당 엽면적(m²)의 양으로 정의되는데 식물의 광합성 및 증발산 능력과 밀접하게 연관되어 있는 식생의 밀도를 나타내는 방법이다. 엽면적지수의 기초적인 중요성에 비해서 그에 대한 폭넓은 연구는 아직 미진한 편이다. 최근의 연구에서는 지구기후변화나 인간활동에 의해 식생 활력성이 증가하고 있다고 보여주었다(Myneni,1997). 특히 지난 20년 동안에 원격관측자료를 이용한 연구에서는 증가된 태양복사량, 수증기, 잠열, CO₂ 또는 경작지역의 확대 때문에 열대지방과 중위도 그리고 북반구 삼림지역에서 식생이 번성하고 있다는 것을 보여주었다(Shabanov, 2002). 엽면적지수의 측정은 식물의 잎을 채취하여 단위면적당 잎의 면적을 측정하여 사용하는 현장표본조사를 수행하거나 기계를 사용한 비파괴적인 방법으로 추정했으나 최근에는 원격관측방법을 사용하여 식생상태를 모니터링하고 있다. 엽면적지수를 추정하기 위한 원격관측방법의 사용은 식생에 의해 흡수된 선택적 복사 반사의 특징에 기반을 한다. 본 연구에서는 토지피복을 6개의 형으로 구분한 Myneni 의 radiative transfer model 에 근거한 NOAA-AVHRR 자료를 이용하여 엽면적지수를 유도하였다. 이 자료는 시간 해상도로는 월, 공간해상도로는 16km×16km 를 가지며 자료의 기간은 1981년 7월부터 2001년 5월 까지이다. 자료의 월별, 년별, 계절별 추세를 분석하였고, 시공간 변화도와 주기성 분석을 위해서 Wavelet 분석과 EOF 분석을 실시하였다.

2. Wavelet 분석 및 EOF 분석

2.1 Wavelet 분석

Wavelet 분석은 비정상 시계열의 주 변화 성분을 탐지하는데 매우 유용한 기법이다. Fourier 분석과 마찬가지로 wavelet 분석도 시계열을 연속함수들의 무한 가중 합으로 나타낸다. Fourier 분석에서는 이러한 연속함수가 무한개의 sine과 cosine함수이다. Wavelet 분석에 있어서 그 함수들은 공간상에 지역화된 즉 한정된 영역에 대하여 영이 아닌 값을 가진다. 실제로 사용되는 함수들은 점진적으로 한정된 구간에 제한된다. 본 연구에서의 적용에 있어 Gaussian에 의해 변조된 점진적으로 영에 근접하는 Morlet wavelet이 사용되었다.

$$\Psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} \times e^{i\omega_0\eta} \times e^{-\eta^2/2} \quad (1)$$

여기서 η 는 무차원의 시간 지표이고 ω_0 는 무차원의 주기이다. 동일 시간 간격 $\delta t [m = 0, \dots, N-1]$ 에 대하여 N개의 값을 가지는 주어진 시계열 $f_x(m)$ 에 대하여 wavelet 변환은 wavelet 함수 Ψ_0 를 가지는 함수 f_x 의 합성곱이다.

$$W_n(s) = \sum_{j=0}^{N-1} f_x(j) \Psi_0^* \left[\frac{(j-n)\delta t}{s} \right] \quad (2)$$

여기서 s 는 wavelet 척도 (구간 길이)를 나타낸다. Ψ_0^* 는 Ψ_0 의 공액이고 n 은 wavelet 함수의 원점이 변환되는 구간들의 수이다. Wavelet 척도는 시계열의 Fourier 분석에 있어 주기성의 개념에 대응한다. 저빈도(장주기) 성분은 wavelet의 척도를 연장시키면서 얻을 수 있고 고빈도(단주기) 성분은 wavelet의 길이를 줄이면서 얻을 수 있다. 각 시점에 있어서 시계열은 다른 척도에서의 wavelet들의 합과 비슷하다. 본 연구에서는 wavelet 변환과 주요 주기 선정을 위해서 Torrence와 Compo(1998)가 제시한 알고리즘을 사용하였다. Wavelet 스펙트럼 또는 계수는 $|W_n(s)|^2$ 와 같이 정의된다. 이것은 wavelet의 진폭(계수)과 시간척도(s) 및 시간(위치 n)의 함수로 나타나는 3차원 표면에 대응한다. Fourier 변환과 비슷하게 높은 값의 계수는 그 시간에 그 wavelet 척도의 기여도가 크다는 것을 나타낸다. 높은 기여도를 가지는 지역의 폭은 이 성분이 기여하는 시간 구간을 나타낸다.

2.2 EOF 분석

엽면적자료의 공간 변화도의 주된 변화성분을 규정하기 위하여 경험적 직교 함수 분석을 실시하였다. 엽면적자료와 같은 서로 연관이 있는 공간 변수들($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$)이 관측되었을 때, 이 변수들이 가지고 있는 정보들을 최대한 확보하는 적은 수의 새로운 변수들로 나타낼 수 있다. 즉, 서로 연관이 있는 n 개의 변수($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$)들에 대하여 주요한 관심사 중의 하나는 이 변수들이 가지고 있는 변이를 측정하는 것이다. 변이란 이 변수들이 가지고 있는 정보의 양이라고 할 수 있는데, 주성분분석에서는 원래의 변수들이 가지고 있는 변이의 양을 가장 많이 확보하는 순서대로 변수들의 선형결합을 이용하여 새로운 변수를 구하는 과정이다. 변화도를 설명하기 위하여 먼저 엽면적자료의 편차(anomalies) \hat{s}'_t 를 구한다.

$$\hat{s}'_t = s_t - \hat{\mu} \quad (3)$$

여기서 $\hat{\mu}$ 는 분석 시간동안의 평균이다. 이 편차 자료는 다음과 같이 독립한 패턴의 선형 결합으로 나타낼 수 있다.

$$\hat{s}'_t = \sum_{i=1}^k \hat{\alpha}_{i,k} e^i \quad (4)$$

* 정희원 · 경북대학교 토목공학과 조교수 E-mail : kimgs@knu.ac.kr

** 경북대학교 토목공학과 석사과정 E-mail : kkyung1122@msn.com

여기서 e^i 는 경험적 직교 함수이다. 그리고 알파는 경험적 직교 함수의 계수로 주성분으로 알려져 있다. 경험적 직교 함수는 직교 벡터이며 경험적 직교 함수의 계수들 사이의 lag-0 상관관계는 0 이다. 경험적 직교 함수계수를 구하는 원리는 $\hat{\alpha}_{1,t}$ 의 분산이 가장 크게 하고, $\hat{\alpha}_{2,t}$ 의 분산이 그 다음으로 크도록 하며, $(\hat{\alpha}_{1,t}, \hat{\alpha}_{2,t}, \dots, \hat{\alpha}_{k,t})$ 는 서로 독립이 되도록 구하여진다. 분산의 크기순서로 정의되는 이유는 변이의 크기 (정보의 양)가 각 변수의 분산에 의하여 측정되기 때문이다. 만약에 k개 ($k < n$)의 새로운 변수들이 확보하고 있는 변이의 양(정보의 양)이 n개의 원래 변수가 가지고 있던 변이의 양의 대부분을 확보한다면 새로운 k개의 변수가 원래의 n개 변수를 대신할 수 있다.

3. 자료

짧은 시간동안에 그 특성이 변하지 않는 식생의 환경변화를 모니터링하는데 원격관측방법이 널리 사용되고 있다. 본 연구에서 사용한 엽면적지수 자료는 보스턴대학의 Climate Vegetation Research Group에서 생산한 자료를 사용하였다. 이 자료는 radiative transfer model과 Version 3 Pathfinder NDVI 자료를 사용해서 생산되었다(Myneni et al. 1997b, Nemani et al. 2003). Radiative transfer model법은 엽면적지수를 Myneni에 의해 분류된 6개의 지표피복형(grasses and cereal crop, shrub, broadleaf crop, savanna, broadleaf forests, needle leaf)으로 나누고 여기서 엽면적지수를 유도하였다. 이 자료는 월 및 16km의 시공간 해상도를 가지며 그 기간은 1981년 7월부터 2001년 5월까지이다. 본 연구에 사용된 엽면적지수에 대한 보다 자세한 내용은 다음의 사이트를 참조하시기 바란다([ftp://primavera.bu.edu/pub/datasets/avhrr_datasets/pathfinder/version3_data/lai/16km/](http://primavera.bu.edu/pub/datasets/avhrr_datasets/pathfinder/version3_data/lai/16km/)).

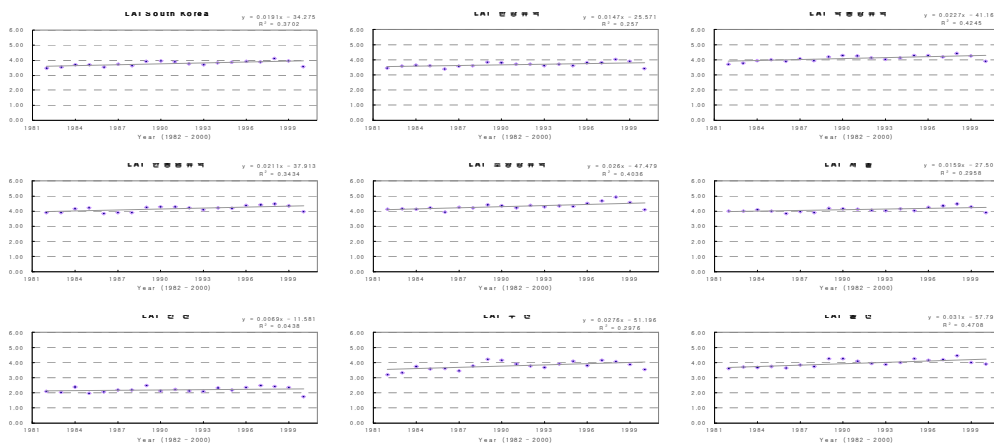


그림 1. 남한, 한강·낙동강유역, 소양강·안동댐유역, 서울·부산·인천·울산
엽면적지수 연추세

4. 결과 및 토론

NOAA-AVHRR 엽면적지수 자료의 월별, 년별, 계절별 추세분석과 시공간변화도 분석을 수행하였다. 그림 1 은 남한지역, 한강·낙동강유역, 소양강·안동댐 유역, 그리고 주요 도시들중 서울, 부산, 인천, 울산의 엽면적지수의 연평균값의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 남한 전역에서 LAI 값이 증가하고 있는 것으로 나타났고 이는 국외의 다른 연구와 유사한 결과를 가진다. 그림 2 는 남한지역 엽면적지수의 월추세와 각 월별 월평균값을 나타낸 것을 나타낸다. 월추세분석에서는 장기간의 뚜렷한 변동성을 나타내지는 않았다. 하지만 계절적인 요인에 많은 영향을 받는 엽면적지수의 특성을 잘 드러내고 있다. 겨울과 봄 보다는 여름과 가을

에 식생의 밀도가 더 높음을 알 수 있다. 그림 3(a)는 남한지역 엽면적지수의 주성분 분석결과인 첫 네 주성분 패턴을 나타내고 그림 3(b)는 남한지역 엽면적지수의 주성분 분석결과에 따른 첫 세 주성분의 경험적교함수의 시간변화도 분석결과를 나타낸다. Wavelet 분석결과 계절변화를 제외한 특별한 장기변동을 확인할 수는 없었으며 엽면적지수의 공간 변화는 정규식생지수가 보여주는 지형이나 위도의 변화와 밀접한 관계를 가지는 변화양상을 보여주지 않았다. 이는 농지 및 삼림 등의 인위적 조성으로 인한 엽면적 지수의 공간변화도 양상과 관계있다 하겠다.

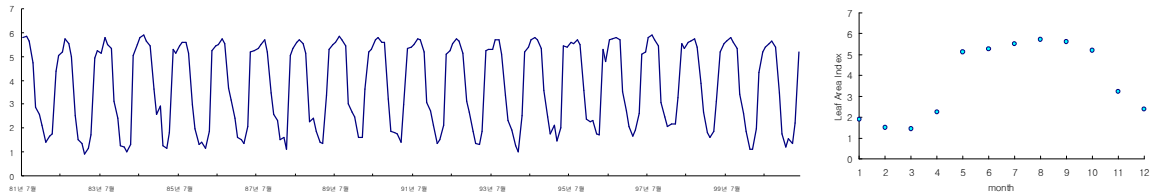


그림 1. 남한지역 엽면적지수의 월추세 및 각월별 평균값

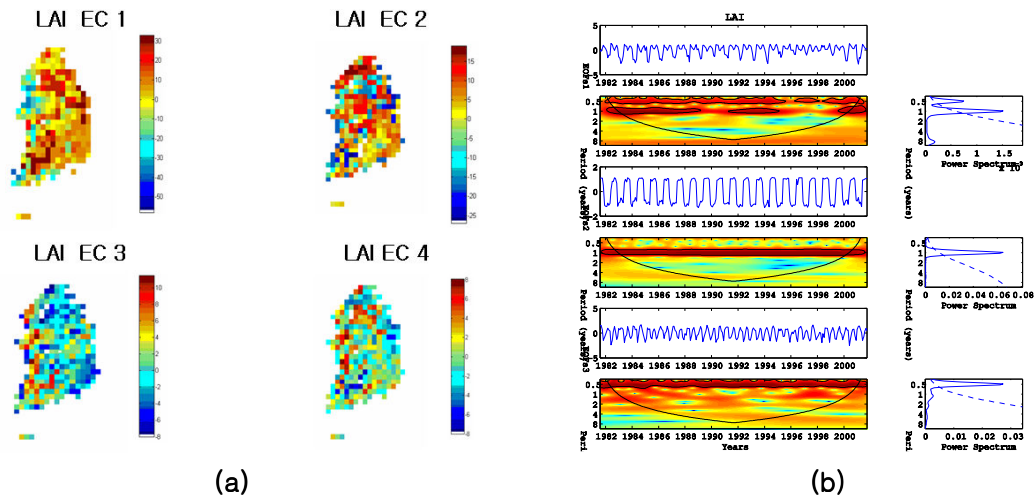


그림 3. (a) 남한지역 엽면적지수의 주성분 분석결과인 첫 네 주성분 패턴 (b) 남한지역 LAI의 주성분 분석결과에 따른 첫 세 주성분의 경험적교함수의 시간변화도분석

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-9-2)에 의해 수행되었습니다. 이와 관련되신 분들에게 감사드립니다.

참고 문헌

1. Myneni, R. B., Nemani, R.R., and Running, S., (1997). "Estimation of global leaf area index and absorbed PAR using radiative transfer models." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 35, pp. 1380-1393.
2. Shabanov et al., (2002). "Analysis of interannual changes in northern vegetation activity observed in AVHRR data during 1981 to 1994." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 40, pp. 115-130.
3. Spanner, M.A., L.L. Pierce, D.L. Peterson, and S.W. Running.,(1990). "The Seasonality of AVHRR Data of Temperate coniferous forests: Relationship with Leaf Area Index." *Remote Sensing Environ.* vol. 33, pp. 99-112.