

MODIS NDVI 시계열 패턴 변화를 이용한 산림식생변화 모니터링 방법론

Method of Monitoring Forest Vegetation Change based on Change of MODIS NDVI Time Series Pattern

정명희* 이상훈** 장은미*** 홍성욱****
Myunghee Jung Sang Hoon Lee Eunmi Chang Sungwook Hong

요약 정규식생지수(NDVI)는 식생자원을 모니터링할 수 있도록 설계된 식생지수(VI-Vegetation Index) 중 하나로 여러 응용 분야에서 가장 많이 사용되고 있는 지수이다. 산림 분야에서도 NDVI가 많이 활용되고 있는데 본 논문에서는 산림 변화 모니터링을 위해 MODIS NDVI를 활용하는 방법론이 연구되었다. 특정 시점을 기준으로 NDVI 값을 비교 및 분류하여 변화를 탐지하는 방법은 기계나 기상상태의 영향으로 자료의 정확성이 떨어질 수 있고 장기적인 변화를 탐지하는데도 어려움이 있다. 이러한 점을 고려하여 본 논문에서는 하모닉 모형을 이용하여 NDVI 시계열 자료를 통해 NDVI 패턴을 고려하는 방법론을 제시하였다. 먼저 하모닉 모형을 적용하여 미관측 자료나 자료의 오류를 보정한 NDVI 시계열 자료를 재구축하고 추정된 하모닉 요소의 모수를 기준으로 장기적 패턴을 통해 식생의 변화를 모니터링할 수 있다. 제안된 방법은 한반도 지역의 2009년 8월 21일부터 2011년 9월 6일까지 총 49개의 MODIS NDVI 시계열 자료에 적용하여 모형의 유용성을 입증하였다.

키워드 : 산림, 변화탐지, 하모닉 모형, MODIS NDVI

Abstract Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) has been used to measure and monitor plant growth, vegetation cover, and biomass from multispectral satellite data. It is also a valuable index in forest applications, providing forest resource information. In this research, an approach for monitoring forest change using MODIS NDVI time series data is explored. NDVI difference-based approaches for a specific point in time have possible accuracy problems and are lacking in monitoring long-term forest cover change. It means that a multi-time NDVI pattern change needs to be considered. In this study, an efficient methodology to consider long-term NDVI pattern is suggested using a harmonic model. The suggested method reconstructs MODIS NDVI time series data through application of the harmonic model, which corrects missing and erroneous data. Then NDVI pattern is analyzed based on estimated values of the harmonic model. The suggested method was applied to 49 NDVI time series data from Aug. 21, 2009 to Sep. 6, 2011 and its usefulness was shown through an experiment.

Keywords : Forest, Change Detection, Harmonic Model, MODIS NDVI

1. 서론

지구의 다양한 자연 자원 중에서 산림은 지구의 대기 순환뿐만 아니라 가뭄과 홍수로부터 토지를

보호하고, 풍부한 생물 다양성을 제공하며 생태계에 영향을 미치는 매우 중요한 자원이다. 산림자원의 중요성에 대한 관심과 인식이 점점 높아짐에 따라 미국, 캐나다, 브라질, 유럽연합 등 많은 국가들이

† 본 연구는 국가기상위성센터의 위성자료의 응용분야 활용확대를 위한 기술개발과제 연구비 지원에 의해 수행되었음.

* 안양대학교 디지털미디어학과 교수, mhjung@anyang.ac.kr (교신저자)

** 가천대학교 산업경영공학과 교수 lsh@gacheon.ac.kr

*** 지인컨설팅 대표이사, 이화여대 겸임교수 emchang21@gmail.com

**** 국가기상위성센터, 위성분석과, 연구관 sesttiya@gmail.com

산림자원의 상태와 변화 동향, 산불 및 산사태와 같은 산림 재난·재해에 대해 체계적인 모니터링을 하고 있다[2, 4, 9].

또한, 21세기에 들어오면서 온실가스 배출을 감소시켜 기후변화를 막는 것이 가장 중요한 환경 이슈가 되면서 온실가스의 주된 원인이 산림손실과 연관되어 있기 때문에 그 어느 때 보다 산림 모니터링에 관한 국제공조와 연구 활동이 활발하게 이루어지고 있는 중이다[12].

특히, 지구의 주요 산림지역에 대해서는 해당 국가뿐 아니라 여러 국가가 공조하여 산림 모니터링을 해나가고 있는데 그 예로 아마존 우림(rain forest)지역의 경우는 브라질 자국 뿐 아니라 미국을 비롯한 국제적 공조를 통한 모니터링이 이루어지고 있다[3, 5].

1972년 처음으로 ERTS(Earth Resources Technology Satellite) 프로그램의 일환으로 무인 위성이 발사된 이후(후에 Landsat으로 알려짐) 30년이 넘게 산림분야에서 위성영상은 산림 자원을 측정하고 관리하는 매우 유용한 도구로 활용되어 왔다[1]. 원격탐사 영상을 이용하면 산림변화와 산림의 공간적 분포 현황, 산림 타입, 산림의 생화학적, 생물리적 특성 등에 대한 정보를 획득할 수 있고 이러한 정보를 바탕으로 산림자원을 모니터링하고 산림관리와 보호에 대한 전략을 수립할 수 있다[2, 17]. 미국을 비롯한 많은 국가들이 정책 변화를 거쳐 원격탐사 영상을 이용해 체계적이고 구조적 분석이 가능한 산림관리체계를 확립해 가고 있고 이를 위한 양질의 정보 획득을 위해 원격탐사자료 분석 기술에 관한 연구와 인프라 구축 또한 활발히 이루어져 왔다.

연구 목표에 따라 산림의 중요 변수와 활용 지표를 정의하고 이를 획득하고 분석할 수 있는 적합한 영상처리 및 분석 방법을 선택하여 적용한다. 식생자원을 모니터링할 수 있도록 설계된 식생지수(VI-Vegetation index) 중의 하나인 정규식생지수 (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)는 식생의 광합성광과 직접 연관되어 있는 지수로 생물학적, 생태학적인 목적으로 여러 응용 분야에서 가장 많이 사용되고 있는 지수이다[7, 9]. NDVI는 잘 조성된 산림지역처럼 식물의 광합성이 활발한 지역일수록 높은 양의 값을, 광합성이 없는 수계나 눈덮인 지역 등은 0 이하의 음수 값을 나타낸다. 주기

적인 NDVI 자료를 분석하면 산림의 전반적인 변화와 계절적 변화를 이해할 수 있다.

Landsat이나 Satellite Pour Observation De La Terre (SPOT)와 같은 중해상도(20-30m) 위성영상의 경우는 지역단위 산림 모니터링에 적합한 반면 넓은 지역에 대해서는 비용이나 높은 주기성을 고려할 때 Advanced Very High Resolution Radiometer(AVHRR), SPOT VEGETATION, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS)와 같은 저해상도(250m-1000m) 영상이 적합하여 국가적 차원에서 산림 변화를 이해하는데 유용하게 활용되고 있다.

MODIS는 Earth Observing System(EOS) 위성에 연속적으로 탑재되어 있는 핵심센서로 36개의 채널로 구성되어 있고 250m, 500m와 1km 해상도의 자료를 제공한다[6]. NDVI는 MODIS의 표준 산출물로 정기적으로 제공되고 있는데 식생변화 탐지를 위해 개별 밴드를 직접 사용하는 것보다 외부적 요소에 의한 변이를 최소화한 형태의 식생지수를 사용하는 것이 더 좋은 결과를 주는 것으로 보고되고 있다. MODIS NDVI는 식생의 생물계절 모니터링과 산림 변화 탐지에 실제 많이 활용되고 있다[1, 14, 19, 17].

본 논문에서는 장기적 산림 변화 탐지를 위해 MODIS NDVI의 패턴을 활용하는 방법론이 제시되었다. 장기간에 걸친 NDVI 시계열 자료는 계절적 변화 양상을 잘 보여주고 있는 파장의 형태로 이러한 변화과정은 수준, 주기, 진폭, 위상의 요소를 가진 하모닉(harmonic) 모형으로 표현될 수 있다[16].

하모닉 모형을 이용하면 연속적인 시계열 자료에서 미관측 자료와 악성자료를 실시간으로 복구할 수 있을 뿐만 아니라 NDVI 패턴을 모형화하여 장기적인 관점에서 산림의 변화를 탐지할 수 있게 된다. 제안된 방법은 한반도의 실험지역 MODIS NDVI 자료에 적용되어 그 유효성을 검증하였다. 이러한 접근법은 향후 산림탐지 정확도를 높일 수 있는 새로운 변화 탐지 기법을 개발하는 기반이 될 수 있을 것이다.

2. 연구방법

2.1 MODIS NDVI

식생활력도를 나타내는 NDVI는 산림 환경을 모

니터링하고 시계열 변화에 기초하여 식생의 연중 변화 양상을 추정하는 등, 산림분야에서 매우 중요하게 활용되는 식생지수이다[5]. MODIS의 36개 분광밴드 중 1번, 2번 밴드는 각각 공간해상도 250 m의 적색 과장대, 적외선 과장대여서 이 두 밴드를 이용하여 다음과 같이 NDVI 영상을 얻을 수 있다.

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

MODIS 원 자료로부터 직접 NDVI를 산출하는 방법 외에도 NASA는 MODIS의 식생지수 산출물을 16일 간격으로 합성(composite)하여 250 m, 500 m, 1 km 해상도로 정기적으로 제공하고 있다[6]. 16일 자료의 합성과정은 8일간씩 오버랩핑되며 산출되는데 MODIS 자료 중 기상상태의 영향과 관측각으로 인한 왜곡을 최소화 할 수 있는 방향으로 합성된다. 합성 과정과 관련 알고리즘에 관한 자세한 사항은 MODIS 웹 사이트에 제공되어 있다[6, 17].

2.2 연구 자료와 활용

본 연구에서는 MODIS/Aqua vegetation indices 16-day L3 global 250m SIN Grid(v005) (MYD13Q1) 자료가 사용되었고 자료는 NASA WIST 사이트에서 받을 수 있다[13]. MYD13Q1에는 식생의 생물리적, 생화학적 상태와 변화과정의 특성을 이해할 수 있는 NDVI와 Enhanced Vegetation Index (EVI) 두 식생지수가 포함되어 있고 MODIS 영상 각 화소에 대한 자료의 정확성에 관한 신뢰도와 질 평가 자료도 함께 제공되고 있다.

먼저 한반도의 전반적인 식생 변화를 살펴보기 위해 식생 활력도가 좋아지는 시기인 5월 중순(5월 17일)에 대해 2006년부터 2011년까지 6년간의 동일 시간대 MYD13Q1 자료를 수집하여 NDVI를 비교하였고 NDVI 차이를 이용하여 변화 정도를 분류하였다.

NASA는 진행산불 탐지 자료로 MODIS thermal anomalies/Fireproduct를 제작하여 제공하고 있는데, 산불이 발생한 경우는 식생 변화에 대한 산불의 영향을 확인해 볼 수 있기 때문에 NASA가 제공하는 MODIS의 진행 산불 자료인 MYD14A1을 사용하여 산불에 의해 식생이 변화된 정도를 살펴보았다. 2011년 4월 12, 13일 대규모 산불이 발생하여

산불 발생 지점이 100여 곳에 이르는 것으로 보고 되어서 4월 12일 MYD14A1를 통해 산불 발생 지점에 대한 정보를 구하고 발생 지점에 대해 2010년과 2011년의 식생을 비교해 보았다.

다음은 NDVI 시계열 자료를 통해 NDVI 차이를 이용한 지표면 식생 변화 탐지 방법의 문제점을 제시하고 장기적 관점에서의 변화 탐지 기법의 필요성을 설명하였다. 이러한 관점에서 NDVI 패턴을 모형화하기 위해 2009년 8월 21일부터 2011년 9월 6일까지 2년간 총 49개의 NDVI 시계열 자료를 수집하여 하모닉 모형을 적용한 시계열 자료를 재구축하였다.

사용된 모든 자료는 NASA가 제공하는 MODIS Tool을 사용하여 한반도를 커버하는 영상들을 타일링하고 Sinusoidal 투영체계에서 UTM Zone 52N(Datum: WGS84) 좌표체계로 변환되어 사용되었다[6].

2.3 하모닉 모형

NDVI자료는 구름이나 대기조건 등의 영향을 받아 여전히 미관측 및 악성자료가 있어 시계열 자료를 사용할 때는 자료 활용상의 오류를 최소화 할 수 있도록 보정이 필요하다. 이를 위해 MVC(Maximum Value Compositing), Curve-fitting, Step-wise logistic regression, BI(E) (Best Index Extraction), Weighted least-squares linear regression 등의 스무딩 기법 등이 활용되고 있다[12]. 또한, 시계열 NDVI 자료에 자동화 필터링·클리닝 기법을 적용하여 자료의 오류를 최소화 하면 다중시간대 분석의 정확성이 향상될 수 있다[7].

식생은 시간에 따라 변화하며 계절적 변화의 특성을 갖기 때문에 특정 지표를 대표하는 화소에서 보면 그 지역의 특징을 반영한 과정을 이루고 있음을 알 수 있다. 이러한 식생의 시계열 변화 과정은 하모닉(harmonic) 함수를 사용하여 모형화할 수 있는데, 하모닉 모형은 평균값(mean), 과장폭(amplitude), 과장주기(period), 과장위상(phase)의 4개 요소를 가지며 평균값은 자료가 모아진 전 기간 동안의 NDVI 평균값에 해당하고 주기는 계절성과 관련된 진동수를, 진폭과 위상은 NDVI의 연중 변화 폭과 시기를 나타내고 있다[16].

식생이 변화하는 과정에서 시간적 변화 특성을 하모닉 요소들과 연관하여 분석해 보면 평균값은 분석기간대의 평균 강도 수준, 과장 폭은 최고 성장

기에서의 정점 값, 파장주기는 계절적 변화 주기, 파장 위상은 성장기의 시작점을 나타내고 있다고 할 수 있다. 따라서 하모닉 요소의 모수추정을 통해 식생 형태를 결정하고 이를 이용하여 식생을 분류할 수 있다(그림 1).

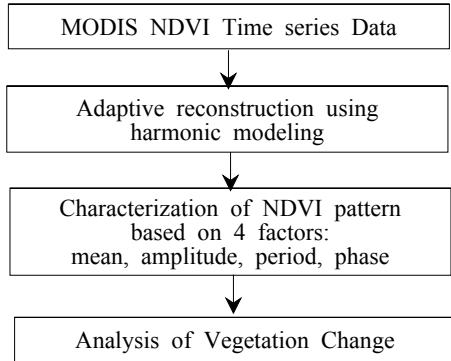


그림 1. 식생변화 모니터링을 위한 NDVI 시계열 자료 분석

또한, 하모닉 모형은 식생 분류뿐만 아니라 기상 상태에 따른 관측 환경 악화와 기계적 문제로 인한 관측 장애 등의 요인으로 자료에 오류가 생길 때 NDVI 값을 복원하는데도 이용할 수 있다. 기존의 스무딩이나 필터링 방법들은 batch 방식으로 일련의 시계열 자료를 한꺼번에 처리하는 기법들이지만 하모닉 모형에 의한 방식은 예측 방식으로 새로운 NDVI 값이 들어 올 때 마다 값이 예측될 수 있어 연속적으로 획득되는 시계열 자료에 보다 적합하다고 할 수 있다.

시계열 시리즈에 대한 하모닉 모형은 다음과 같이 정의 된다:

$$x_t = \mu + R \sin(\omega t + \phi) + e_t \quad (2)$$

$$= \mu + A \cos \omega t + B \sin \omega t + e_t$$

x_t : 시간 t 에서의 관측 값

μ : NDVI 평균값

R : 파장 폭

ω : 파장주기

ϕ : 파장위상

e_t : 시간 t 에서의 화이트(white) 노이즈

일반적으로 화이트 노이즈는 독립된 가우시안(Gaussian) 분포라고 가정한다. 이러한 가정아래 파장주

기 ω 가 주어진다면 최소자승오류(least-squares error)법에 의해 A 와 B 의 최대우도(maximum likelihood) 추정치를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{A} = \frac{1}{\Delta} \left\{ \sum_t z_t \cos \omega t \sum_t \sin^2 \omega t - \sum_t z_t \sin \omega t \sum_t \cos \omega t \sin \omega t \right\}$$

$$\hat{B} = \frac{1}{\Delta} \left\{ \sum_t z_t \sin \omega t \sum_t \cos^2 \omega t - \sum_t z_t \cos \omega t \sum_t \cos \omega t \sin \omega t \right\} \quad (3)$$

$$\Delta = \sum_t \cos^2 \omega t \sum_t \sin^2 \omega t - \left(\sum_t \cos \omega t \sin \omega t \right)^2$$

$$z_t = x_t - \bar{\mu}$$

$$\hat{\mu} = \bar{\mu} = \frac{\sum_t x_t}{n_t} \quad n_t = \text{시계열 상의 관측횟수}$$

위에서 구해진 \hat{A} 와 \hat{B} 을 이용하여 파장 폭 R 과 파장위상 ϕ 는 다음과 같이 구한다.

$$\hat{R} = \sqrt{\hat{A}^2 + \hat{B}^2} \quad (4)$$

$$\hat{\phi} = \begin{cases} \tan^{-1}(\hat{A}/\hat{B}) & \hat{B} > 0 \\ \tan^{-1}(\hat{A}/\hat{B}) + \pi & \hat{A} \geq 0, \hat{B} < 0 \\ \tan^{-1}(\hat{A}/\hat{B}) - \pi & \hat{A} < 0, \hat{B} < 0 \\ \pi/2 & \hat{A} > 0 \\ -\pi/2 & \hat{A} < 0 \\ \text{arbitrary} & \hat{A} = 0 \end{cases}$$

파장 주기 ω 는 가능한 주기 범위 내에서 다음과 같은 피어리오도그램(periodogram)을

$$I(\omega) \propto \hat{R} \quad (5)$$

최대로 하는 주기로 선택한다.

3. 결과 및 변화 분석

3.1 NDVI를 이용한 산림 변화 모니터링

먼저 한반도 지역의 전반적인 연간 식생 변화를 관찰하기 위해 2006년부터 2011년까지 6년간 식생이 활발해지는 시기인 5월 중순 동일 시간대의 MODIS NDVI 값을 기준으로 단순 분류된 영상을 그림 2에서 비교해 보았다. 특히 북한지역의 경우는 그림 2에서 볼 수 있듯이 잦은 산림 훼손과 산불로 인해 식생의 변화가 있음을 알 수 있다. 특히 고원 지역(개마고원, 백무고원) 부근에서 산림의 변화가

많은 편인데 2011년에 와서는 이 지역의 NDVI 값이 감소한 지역이 매우 넓게 분포되어 있어 산림지역의 변화가 더 큰 것을 추측해 볼 수 있다. 이는 2011년 4월 북한 지역에서 발생한 대규모 산불의 영향으로 인해 산림지역의 식생 변화가 더 컸을 것이라고 추측할 수 있다.

그림 3에서는 2011년 4월에 발생한 산불의 영향을 좀 더 자세히 관찰해 볼 수 있다. 먼저 (a)는 2011년 4월 12일의 MODIS thermal anomalies 자료인 MYD14로부터 얻은 산불 발생지점 분포를 보여주고 있고 이로 인한 식생의 변화를 보기위해 (b)에서는 2010년 5월 17일 NDVI와 2011년 5월 17일 NDVI 차를 분류해 비교해 보았다. 붉은 색으로 갈수록 NDVI값의 감소 정도가 증가함을 의미한다.

(c)와 (d)에서는 변화가 큰 샘플지역을 두 곳 선택해서 NDVI 분류 영상을 시각적으로 비교해 보았다. NDVI 값의 분포가 달라진 것을 볼 수 있으며 수치적 변화 정도는 표 1과 표 2에서 각각 구체적으로 확인해 볼 수 있다. (1)번 지역의 경우 NDVI

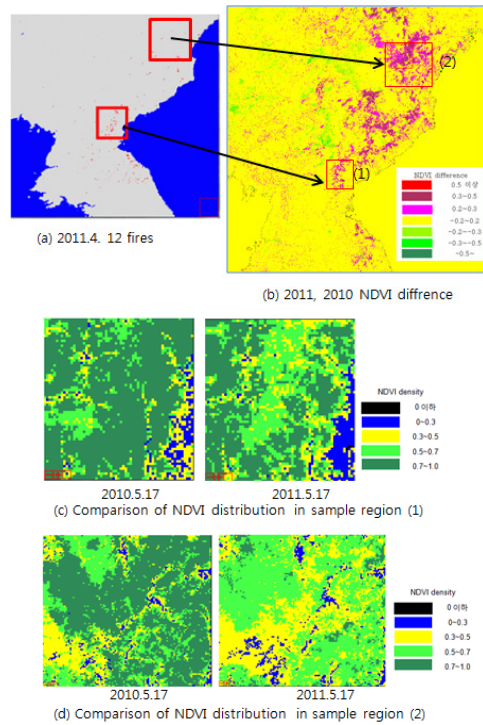


그림 3. 2011년 4월 12일 발생한 산불에 의한 NDVI 변화 비교

값이 0.2 이상 줄어든 지역이 40% 정도이고 (2)번 지역은 18% 정도가 NDVI 값이 0.2 이상 줄어들었다[10].

다음으로 그림 4에서는 NDVI 시계열 자료를 통해 시간에 따른 식생의 변화를 살펴보았다. 시계열 자료에서도 5월 17일 기준으로 연간 비교를 해 보면 2011년 4월 대규모 산불 발생으로 인해 2011년 NDVI 값에 변화가 있을 것을 예상해 볼 수 있다. 이를 위해 2009년 8월 21일부터 2011년 9월 6일까지 총 49개의 NDVI 시계열 자료를 수집하였다.

먼저 그림 4의 (a)는 연간 변화를 보여주지 않는 지점의 2년간의 NDVI 시계열 자료다. 이 지점에서는 2010년, 2011년 5월 17일 두 시기의 NDVI 값이 유사함을 볼 수 있다. 반면 그림 4의 (b)는 그림 3의 (c)와 (d) 지역의 산불이 일어난 지점의 샘플 시계열 자료로 산불의 영향으로 NDVI 값이 0.5 정도로 크게 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

그러나 5월 17일 이후 6, 7, 8월로 가면서 대부분의 NDVI 값의 분포는 같은 패턴을 보여주는 것을

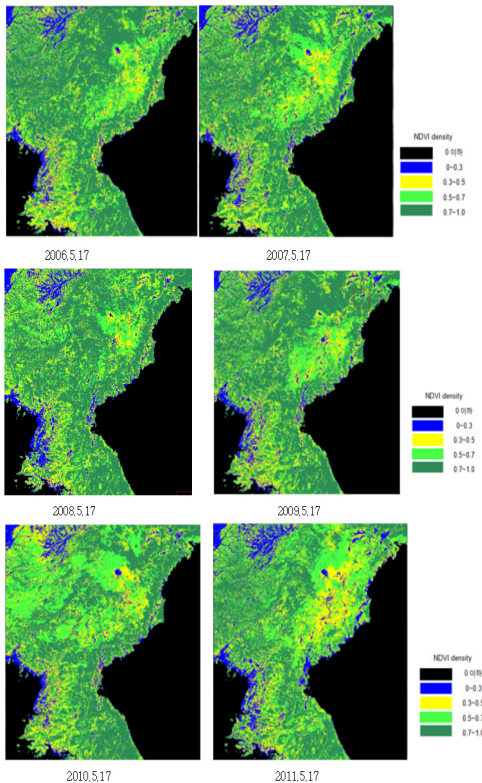


그림 2. 2006년부터 2011년까지 연간 NDVI 비교(5월 중순 기준)

볼 수 있다. 따라서 어느 시점에 NDVI 값만의 차이를 이용하여 산림 변화를 탐지하기에는 정확성에 문제가 있다는 것을 알 수 있다. 이는 장기간의 NDVI 분포 패턴에 기반을 두고 패턴에 변화가 있는 지역을 산림 변화 지역으로 탐지해야 한다는 것을 의미한다. 따라서 산림 변화 탐지의 정확도를 개선하기 위해서는 NDVI 시계열 자료를 이용할 수 있는 연구가 더 필요하다.

표 1. 그림 3(c)에서의 NDVI 차이값 분포

2010-2011 NDVI Difference	Ratio
0.5~	0.024%
0.3~0.5	12.748%
0.2~0.3	26.592%
-0.2~0.2	60.337%
-0.2~-0.3	0.218%
-0.3~-0.5	0.081%

표 2. 그림 3(d)에서의 NDVI 차이값 분포

2010-2011 NDVI Difference	Ratio
0.5~	0.224%
0.3~0.5	5.663%
0.2~0.3	12.121%
-0.2~0.2	80.179%
-0.2~-0.3	1.515%
-0.3~-0.5	0.298%

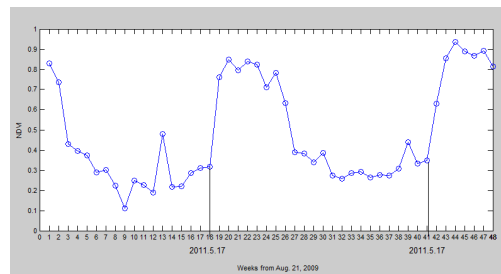
3.2 NDVI 시계열 자료에 대한 하모닉 모형의 적용

NASA가 제공하는 MODIS NDVI 자료는 16일 동안의 일일 NDVI 자료를 이용하여 합성된다. 기본적으로 일일 NDVI를 계산한 후 각 화소마다 16일 기간 동안 가장 높은 NDVI값을 배당하는 방식으로 합성된다[6]. 그러나 합성 과정에서 구름과 같은 관측 환경의 영향과 관측시스템의 기계적 문제 등은 여전히 있기 때문에 NDVI 값의 에러나 미관측 등 오류가 발생할 수 있다. 장기적인 NDVI 패턴을 분석하여 산림 변화를 모니터링하기 위해서는 NDVI 시계열 자료에서 이러한 에러를 최소화 할 수 있는 방법이 필요하다.

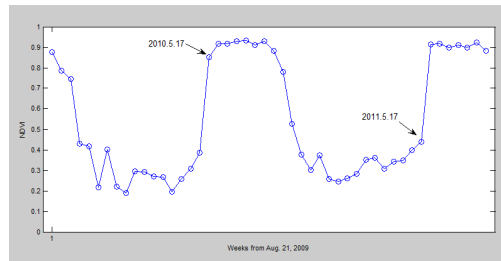
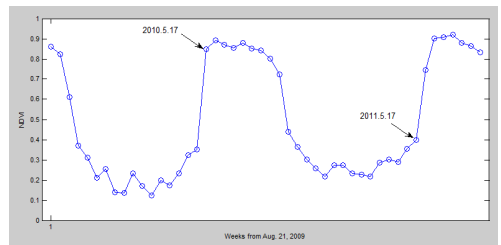
식 (2)에서 설명되어 있는 하모닉 모형을 이용하면 시계열 자료를 모형화할 수 있고 이를 적용하여 에러를 보정하고 시계열 자료를 재구축할 수 있다. 그림 5에서는 NDVI 시계열 자료와 하모닉 모형을

적용하여 재구축된 시계열 NDVI 자료를 비교하고 하모닉 모형의 fitting 정도를 시각적으로 확인해 보았다. 하모닉 모형이 자료 변동성을 최소화 하며 시계열 패턴을 따라가고 있는 것을 볼 수 있으며 이를 통해 하모닉 모형이 NDVI 시계열 자료의 패턴을 모형화하는데 유용함을 확인해 볼 수 있다.

이와 같이 재구축된 NDVI 시계열 자료로 부터 하모닉 요소의 모수(mean, amplitude, period, phase)를 추정하고 이를 기준으로 NDVI 영상 화소들을 분류하여 패턴의 변화를 보이는 지역을 식생 변화가 일어난 지점으로 탐지할 수가 있다.

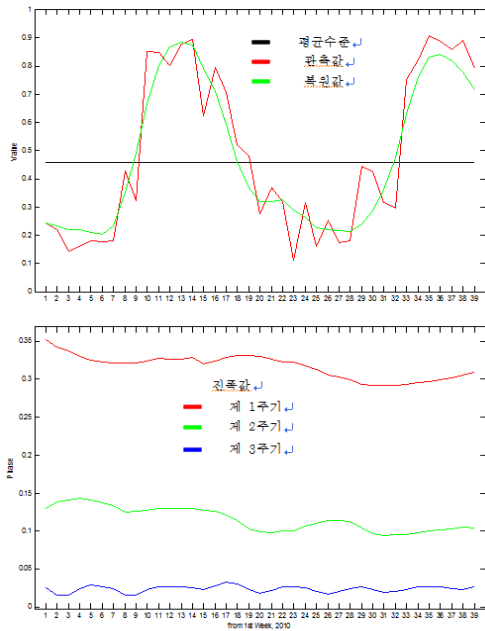


(a)

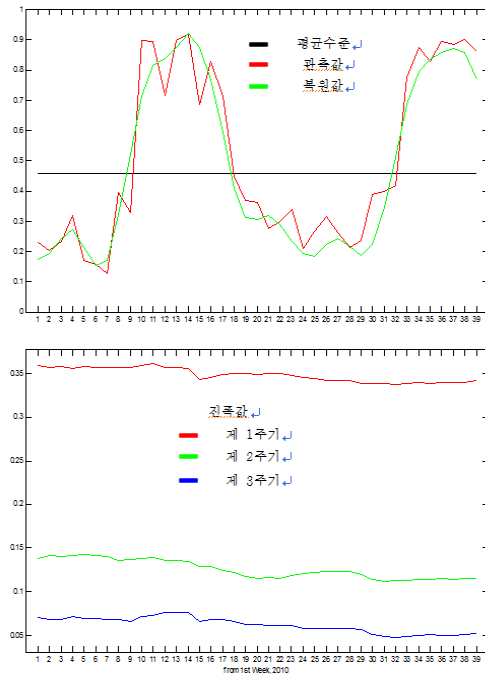


(b)

그림 4. 2009년 8월 29일에서 2011년 9월 6일 사이의 샘플 지점에서의 NDVI 시계열 자료



(a)



(b)

그림 5. MODIS NDVI 시계열 자료와 하모닉 모형을 이용해 재구성된 NDVI 시계열 자료의 비교

4. 결론

원격탐사 영상은 산림분야에서 매우 효율적이고 중요한 수단으로 자리 잡게 되었다. 원격탐사 영상 분석 방법이 결과에 미치는 영향이 크기 때문에 이에 대한 연구도 함께 활발히 진행 중에 있다. 일반적으로 관심 영역에 따라 주요 지수를 정의하고 원격탐사 영상으로부터 이러한 지수들을 추출하여 분석하는 과정을 거친다. NDVI는 여러 응용 분야에서 가장 많이 사용되고 있는 지수중 하나이다.

본 논문에서는 산림 변화 모니터링을 위해 MODIS NDVI를 활용하는 방법론이 연구되었다. 변화 탐지를 위해 특정 시간을 기준으로 NDVI 값을 비교 및 분류하는 방법보다는 장기적 패턴에서 식생의 변화를 탐지하는 것이 필요함을 보여주었다. 또한, 본 연구에서는 평균값, 주기, 진폭, 위상의 4가지 요소로 정의되는 하모닉 모형이 NDVI 시계열 자료의 장기적 패턴을 분석하는데 적합함을 제시하고자 하였다. 하모닉 모형을 적용하면 계절적 변화나 장기적 패턴 변화를 추적할 수 있을 뿐만 아니라 자료 획득 시 발생하는 미관측이나 관측자료 오류 문제도 적응과정을 통해 추정될 수 있다.

본 연구에서는 2년간의 MODIS NDVI 시계열 자료를 사용하였는데 시계열 자료로서 충분한 양의 자료는 아니어서 장기간에 걸친 전반적인 산림 현황과 변화를 이해하기는 어려웠지만 하모닉 모형이 2년간의 자료만으로도 원 자료에 대한 fitting이 좋은 것을 보여줄 수 있었다. 또한 하모닉 모형의 경우는 기존의 스무딩, 필터링 방법들이 대부분 batch 방식인 것에 비해 예측 방식이어서 실시간으로 시계열 자료를 재구성하는데 훨씬 효율적이다.

그러나 이러한 방법은 장기간에 걸친 점진적인 변화를 탐지하는 데는 적합하지만 산불, 산사태와 같은 재난·재해, 혹은 인위적인 산림의 변경과 같은 갑작스러운 변화를 예러로 보고 자료를 조정할 수 있는 문제가 있다. 이러한 점을 해결하고 갑작스런 변화가 자료의 오류로 판단되지 않는 시계열 자료를 재구성하기 위해서는 지표 온도, LAI와 같은 시계열 자료를 동시에 활용하는 방법이 필요하다[15].

따라서 보다 정확한 산림 변화 모니터링을 위해서는 NDVI 시계열 자료와 함께 MODIS의 지표온도나 기상자료, LAI와 같은 부가 정보에 대한 시계열 자료가 필요하며 이러한 자료를 통합적으로 사

용하여 NDVI 변화 패턴을 통한 장기적 산림 변화와 함께 산림 유실, 토지 유용, 산불과 같은 재해로 인한 변화를 동시에 탐지할 수 있다. 향후 이를 기반으로 산림 변화 탐지와 복원의 정확성을 증가시킬 수 있는 연구가 진행될 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] D.J. Hayes, W.B. Cohen, S.A. Sader, and D.E. Irwin, 2008, "Estimating proportional change in forest cover as a continuous variable from multi-year MODIS data", *Remote Sensing of Environment*, vol. 112, pp. 735~749.
- [2] D.S., Boyd and F.M. Danson, 2005, "Satellite remote sensing of forest resources: three decades of research development", *Progress in Physical Geography*, vol. 29, no. 1, pp. 1~26.
- [3] INPE, 2008. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Projeto PRODES. <http://www.obt.inpe.br/prodes>
- [4] JRC <http://ec.europa.eu/dgs/jrc/index.cfm>
- [5] M.C., Hansen, Y.E. Shimabukuro, P. Potapov, and K. Pittman, 2008, "Comparing annual MODIS and PRODES forest cover change data for advancing monitoring of Brazilian forest cover", *Remote Sensing of Environment*, vol. 112, pp. 3784~3793.
- [6] MODIS <http://modis-land.gsfc.nasa.gov>
- [7] N. Pettorelli, J. Vik, A. Mysterud, J. Gaillard, C. Tucker, and N. Stenseth, 2005, "Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change", *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 20, no. 9, pp. 503~510.
- [8] P. Potapov, M.C. Hansen, S. V. Stehman, T. R. Lovel, and K. Pittman, 2008, "Combining MODIS and Landsat imagery to estimate and map boreal forest cover loss", *Remote Sensing of Environment*, vol. 112, pp. 3708~3719.
- [9] Q. Wang, and J.D. Tenhunen, 2004, "Vegetation mapping with multitemporal NDVI in North Eastern China Transect (NECT)", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol.6, no. 1, pp. 17~31.
- [10] R.S. Lunetta, J.F. Knight, J. Ediriwickrema, J.G. Lyon, and L.D. Worthy, 2006, "Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data", *Remote Sensing of Environment*, vol. 105, pp. 142~154.
- [11] S. Jin and S.A. Sader, 2005, "MODIS time-series imagery for forest disturbance detection and quantification of patch size effects", *Remote Sensing of Environment*, vol. 99, pp. 462~470.
- [12] THE FRA2010 REMOTE SENSING SURVEY, Forest Resources Assessment Working Paper 155. www.fao.org/forestry/fra
- [13] WIST <https://wist.echo.nasa.gov>
- [14] 박정술, 김경탁, 2009, "가뭄모니터링을 위한 MODIS NDVI의 활용성 평가: 가뭄지수와의 비교를 중심으로", *한국GIS학회지*, 제17권, 제41, pp. 117~129.
- [15] 이민지, 한경수, 2010, "MODIS LAI 데이터를 이용한 툰드라-타이가 경계의 식생 공간분포분석", *한국공간정보학회지*, 제18권, 제5호, pp.27 - 36.
- [16] 이상훈, 2009, "지표면 식생 변화 감시를 위한 NDVI 영상자료 시계열 시리즈 재구축", *대한원격탐사학회*, 25 (2): 95~105.
- [17] 차수영, 서동조, 박종화, 2009, "MODIS자료를 이용한 북한 개마고원 및 백무고원 식생의 생물계절 모니터링", *대한원격탐사학회*, 제25권, 제5호, pp. 399~409.

논문접수: 2012.04.13

수정일: 2012.07.09

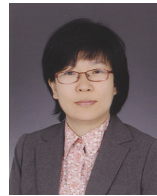
심사완료: 2012.08.27



정 명 희

1991년 U. of Texas, Austin 석사
1997년 U. of Texas, Austin 공학 박사
1998년~현재 안양대학교 디지털미디어학과 교수

관심분야는 원격탐사 데이터 처리, 멀티미디어 영상처리



장 은 미

1986년 서울대 지리학과 학사,
1986년 서울대 지리학과 석사
1997년 U. of Kansas 지리학 박사
현재 (주)지인컨설팅 대표이사,
이화여대 겸임교수

관심분야는 위성영상응용, 격자형 공간정보 품질 및 표준, 문화 및 생태응용 지도화



이 상 훈

1991년 U. of Texas, Austin 공학 박사
1992년~현재 가천대학교
산업경영공학과 교수

관심분야는 원격탐사 데이터 처리, 멀티미디어 영상처리



홍 성 욱

서울대 지구과학교육 학사
서울대 물리학과 석사
미, 텍사스 A&M 석박사
(현) 국가기상위성센터 연구관

관심분야는 위성원격탐사, 수문, 기상, 기후, 재해재난 등 응용분야