

## 조화 분석을 이용한 식생지수 보정 기법에 관한 연구

박수재 · 한경수<sup>†</sup> · 피경진

부경대학교 위성정보과학과

### NDVI Noise Interpolation Using Harmonic Analysis

Soo-Jae Park, Kyung-Soo Han<sup>†</sup>, and kyoung-Jin Pi

Dept. of Geoinformatic Engineering, Pukyong National University

**Abstract :** NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), which is broadly used as short-term data composite, is an important parameter for climate change and long-term land surface monitoring. Although atmospheric correction is performed, NDVI dramatically appears several low peak noise in the long-term time series. They are related to various contaminated sources, such as cloud masking problem and wet ground condition. This study suggests a simple method through harmonic analysis for reducing NDVI noise using SPOT/VGT NDVI 10-day MVC data. The harmonic analysis method is compared with the polynomial regression method suggested previously. The polynomial regression method overestimates the NDVI values in the time series. The proposed method showed an improvement in NDVI correction of low peak and overestimation.

**Key Words :** Harmonic analysis, NDVI, MVC, Time-series, Noise.

**요약 :** NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)는 기후 변화 모니터링과 식생 변화 탐지 모니터링을 위한 주요한 지표이며 주로 단일 기간 합성 자료 형태로 널리 활용되고 있다. 원격탐사 된 식생지수 자료는 전처리 과정을 거치게 되지만 제거되지 못한 cloud pixel, 대기 효과, 지면의 상태 등으로 인하여 NDVI 값이 저평가(low peak)되는 noise가 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 국내·외 연구가 활발히 진행되고 있으며 최근 높은 값(high peak)을 추적하는 방법인 다중 다항 회귀식을 이용하여 noise를 보정하는 방법이 개발되었으나 부분적으로 참값보다 과대 평가되는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 과대 평가되는 문제점을 해결하고자 조화 분석을 이용하여 low peak 탐지 후 보간하는 종합적인 기법을 개발하였다. 이를 검증하기 위해 SPOT/VGT NDVI 10-day MVC 자료를 이용하여 다중 다항 회귀식을 이용한 방법과의 비교 분석을 수행한 결과 전반적인 식생 지수의 시계열 특성이 잘 나타났고 NDVI 실제 값(raw value)을 보다 현실적으로 재생산하여 조화 분석을 이용한 방법이 더 우수한 것으로 판단된다.

접수일(2010년 5월 17일), 수정일(1차 : 2010년 8월 20일), 게재확정일(2010년 8월 27일).

<sup>†</sup> 교신저자: 한경수(kyung-soo.han@pknu.ac.kr)

## 1. 서론

식생 지수(Vegetation Index)는 육상 생태 변수 중의 하나로 지구 온난화 및 사막화 등의 기후 변화를 예측하고 지표의 식생 상태를 파악하기에 유용한 지표이다. 또한, 엽면적 지수(Leaf Area Index), FVC(Fractional Vegetation Cover), FPAR(Fraction of Photosynthetically Active Radiation) 등과 같은 식생 관련 산출물의 입력 자료로 사용되며 이를 기반으로 식물의 1차 총 생산량(Gross primary productivity)과 순 일차생산량(Net Primary Production)을 정량적으로 추정 가능케 하는 가장 기본적이면서도 중요한 변수이다.

일반적으로 정규 식생 지수(NDVI)를 많이 사용하며 이것은 적색광(red) 채널과 근적외(near-infrared) 채널에서의 반사율 차이가 크게 나타나는 것을 이용하여 산출한다. NDVI 산출 이전에 위성 자료의 대기 보정, 지리 보정, 구름 제거, 양방향성 효과 제거(Bi-directional Reflectance Distribution Function, BRDF) 등의 전처리 과정을 거치며 주로 최대값을 추정하여 보정하는 방법인 MVC(Maximum Value Composite)기법(Holben, 1986; Gutman, 1987; Miura *et al.*, 1998; Goward *et al.*, 1991)과 구름 탐지 기법인 CLAVR(Cloud detection identification algorithm)(Stowe *et al.*, 1991) 등을 이용한다.

하지만, 이러한 과정을 거쳤음에도 불구하고 완전히 제거되지 못한 얇은 구름 및 구름 그림자(shadow)들의 영향, 에어로솔 및 미세 입자들의 영향, 그리고 강수 이후의 지표에 남아있는 수분의 영향으로 인하여 산출된 시계열 NDVI 값들이 급격히 낮아지는 현상(noise)이 불규칙적으로 발생한다.

이러한 NDVI noise를 제거하기 위해 국내·외에서는 다양한 기법들을 이용한 연구가 수행되고 있으며 대표적인 연구는 1) 푸리에 분석(Fourier analysis) 방법(Roerink *et al.*, 2000; Jakubauskas, 2001; Moody, A. and Johnson, D.M., 2001); 2) 임계값을 이용한 BISE(Best Index Slope Extraction algorithm) 방법(Viovy *et al.*, 1992; White *et al.*, 1997); 3) 이동 평균을 이용한 방법(Chen *et al.*, 2004); 4) 가우시안 정규 분포 함수를 적용한 방법(Jonsson and Eklundh, 2002); 5) 가중 최소 제곱 선형 회귀식을 이용한 방법

(Swets *et al.*, 1999); 6) 다중 다항 회귀식(Polynomial regression)을 이용한 방법(염종민, 2006) 등이 있다.

이렇게 NDVI noise 보정에 대한 연구가 활발한 이유는 식생 지수가 기상·기후 예측 모델 및 식생의 변화 탐지 및 식생의 활력도 모니터링 등에 있어 중요한 기반 변수이며 식생 관련 산출물들의 결과값에도 영향을 미치기 때문이다. 따라서, 최근 국내·외 연구에서는 다양한 보정 기법 개발이 활발히 진행되고 있으나 보다 확실한 noise 제거를 위한 방법이 필요한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 최근 개발된 다중 다항 회귀식을 이용한 방법의 문제점을 분석하고 이를 개선하고자 조화 분석을 이용하여 보정을 수행하였다. 또한 개발된 방법과 다중 다항 회귀식을 이용한 방법과의 비교 분석을 통해 타당성을 검증하였으며 한반도 영역에 분포하는 5개의 다른 land cover에 대하여 적용성 검사를 수행하였다.

## 2. 연구 자료

NDVI 산출물은 NOAA위성의 AVHRR센서에서 1km의 공간 해상도를 가진 7-day 합성 자료로 제공되며, Terra·Aqua 위성의 MODIS센서에서는 각각 250m, 500m, 1km의 다양한 공간 해상도를 가진 16-day 합성 자료로 MOD13 product로 제공되고 있다. SPOT위성의 VEGETATION(VGT) 센서에서도 각 1km의 공간 해상도로 S1, S10, D10 product를 제공한다. 본 연구에서 사용한 자료는 SPOT/VGT센서에서 취득한 2008년 1월부터 12월까지의 NDVI 10-day MVC 자료인 S10 product를 사용하였다. 이 자료의 MVC 기법은 10일 동안 동일한 위치의 화소에 대하여 식생 지수는 크게 변하지 않는다는 가정하에, 가장 높은 값을 선택하는 방법이다. Fig. 1은 2008년 S10 자료의 한 지점에 대한 시계열 그래프로서 앞에서 설명한 위성 전처리 과정을 수행하였음에도 불구하고 NDVI 값이 낮아지는 현상, 즉 noise가 나타났다.

연구 영역은 한반도 영역을 대상으로 수행하였고 또한, 토지 피복의 종류와 분포 상태를 알기 위한 보조자료로서 2001년 제작된 MODIS Global Land Cover 1km 자료를 이용하였다. MODIS Global Land Cover map은 MODIS 센서의 산출물로서 전 지구 규모

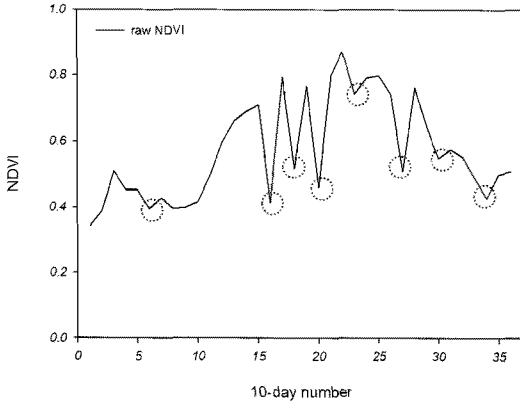


Fig. 1. Lowpeak detection of SPOT/VGT S10 NDVI data.

(Global land cover)이며 IGBP(International Geosphere-Biosphere Programme Data and Information System)에서 정의된 총 17개 classes로 분류된 체계를 기반으로 식생의 성장 및 분포와 계절적인 변화 및 지형의 변화, 전지구적 및 지역적인 규모의 기후 변화를 알 수 있는 자료이다.

### 3. 조화 분석(Harmonic analysis)를 이용한 NDVI의 재생산

본 연구에서는 염종민(2006)이 사용하였던 다중 다항 회귀식을 적용하여 NDVI를 재생산하였다. 다중 다항 회귀식을 이용한 NDVI의 보정 방법은 기존 NDVI 시계열 자료 중에서 참값인 high peak를 추적하여 회귀값을 산출하고 기존의 NDVI와 회귀식을 이용하여 산출된 NDVI를 비교하여 low peak를 제거하는 과정을 통해 오차 값을 줄여 나가는 방법이다. 다중 다항 회귀식을 이용하여 MODIS land cover map에서 가장 높은 비율인 20.41%(총 1,009,200개 화소 중 205,972개)를 차지하는 Mixed Forest(혼합림)의 한 화소(127.16°, 35.12°)에 대하여 보정을 수행하였다. Fig. 2은 2008년 NDVI 시계열 그래프로서 다중 다항 회귀식을 이용한 NDVI 보정의 경험적으로 결정된 총 7회 반복 과정과 실제 NDVI 시계열 자료를 비교한 것이다. 반복 횟수를 늘려감에 따라 보정 이전에 나타났던 low peak가 점차 제거 되는 것을 볼 수 있으며 전반적인 식생 지수 시계

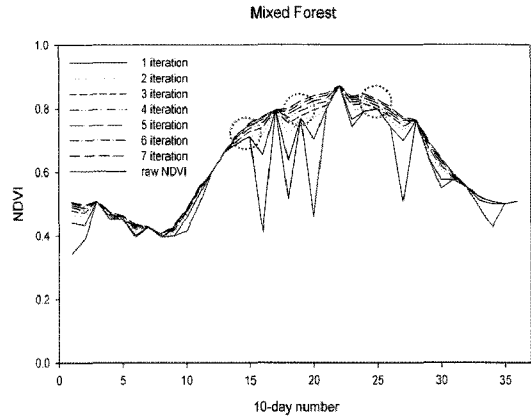


Fig. 2. Comparison raw NDVI with corrected NDVI by polynomial regression approach for one pixel (127.16°, 35.12°) of Mixed forest class.

열 특성이 대체로 잘 나타났다. 하지만 그래프에서 점선으로 표시된 부분 등과 같이 실제 NDVI 값보다 과대 평가 되는 문제점이 발생하였다.

따라서, 다중 다항 회귀식에서 발생한 과대 평가 되는 문제점을 보완하기 위하여 새로운 NDVI 보정 방법을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 보정 방법은 조화 분석을 이용하여 low peak를 탐지 한 후 탐지한 low peak를 보간 하는 것으로 전체적인 흐름은 Fig. 3과 같다. 조화 분석은 푸리에 분해(Fourier analysis)로 잘 알려져 있으며 위상과 진폭의 값으로 정의된 cosine wave의 계열(Series)의 합과 부가적인 항으로 이루어진 NDVI의 주기 곡선으로 표현될 수 있다(L.Monika Moskal., 2005).

먼저 NDVI 자료를 조화 분석 식을 이용하여 주기(cycle component)와 진폭(amplitude), 위상(phase), 평균(average)을 각각 산출한다. 식생의 성장과 쇠퇴의 일반적인 주기인 계절 주기(3개월 주기, seasonal cycle)를 기준으로 low peak를 탐지한다. 이 때 계절 주기는 연 주기(annual cycle), 반년 주기(semi-annual cycle), 4개월 주기를 포함한 주기이고, 3개월 주기 이하로는 NDVI값에 미치는 영향이 미비하기 때문에 고려해 주지 않는다. 따라서 NDVI관측값의 low peak 탐지는 1부터 4까지의 주기 성분을 합성하여 임계값을 정하며 식(2)와 같다.

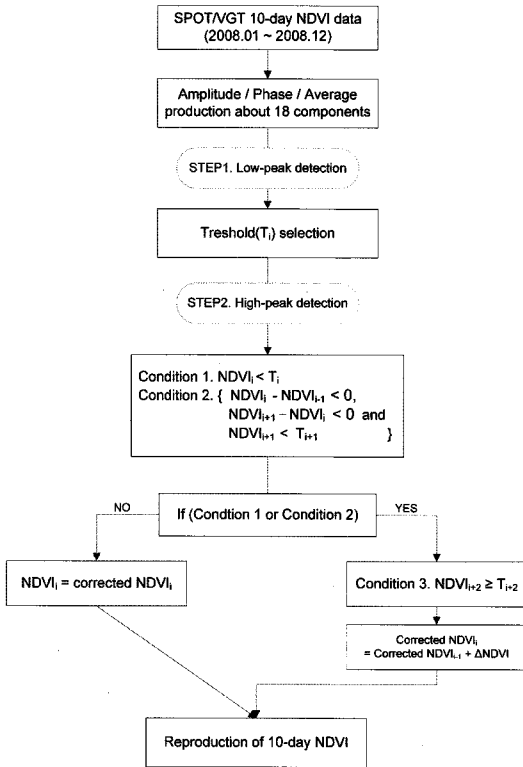


Fig. 3. Flowchart for reconstructing NDVI by Harmonic analysis.

$$T_i = \sum_{k=1}^{k=4} C_{(k,i)} + NDVI_{mean} \quad (2)$$

여기서,  $T_i$ : low peak의 임계값  
 $C$ : 주기에 의한 하모닉 값  
 $k$ : 주기  
 $i$ : 관측한 시기  
 $NDVI_{mean}$ : 실제 NDVI 관측값의 평균

임계값을 정한 후, 다음 조건에 따라 low peak 보간을 수행한다.

- Condition 1:  $NDVI_i < T_i$
- Condition 2:  $NDVI_i - NDVI_{i-1} < 0$   
 $NDVI_{i+1} - NDVI_i < 0$   
 $NDVI_{i+1} < T_{i+1}$
- Condition 3:  $NDVI_{i+2} \geq T_{i+2}$

여기서, NDVI: 임계값으로 정한 실제 NDVI 관측값

조건 1 또는 조건 2를 만족하지 않으면 실제 NDVI 관측값을 유지하고 만족하면 다음 시기의 값 뿐만 아니라 그 다음 시기의 값까지 고려해주는 조건 3을 수행한 후, 식(3)과 같이 최종적으로 NDVI를 재생산한다.

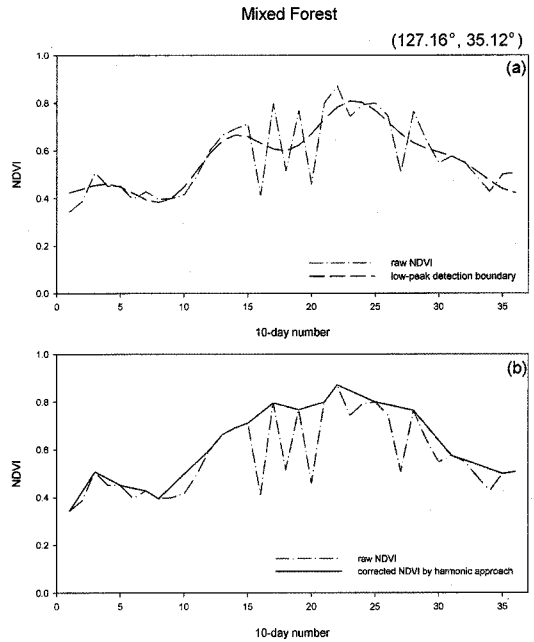


Fig. 4. (a) Lowpeak detection boundary for one pixel (127.16°, 35.12°) of Mixed forest class (b) Comparison raw NDVI with corrected NDVI by Harmonic approach for one pixel of Mixed forest class.

$$NDVI_{cor(i)} = NDVI_{cor(i-1)} + \Delta NDVI \quad (3)$$

여기서,  $i$ : low peak로 탐지된 값  
 $\Delta NDVI$ : low peak로 탐지된 최근접 이전 시기부터 정상 화소가 탐지되는 시기까지의 기울기  
 $NDVI_{cor}$ : 재생산된 NDVI값

이 과정은 high peak를 탐지하여 low peak를 보간하는 것으로 관측 기간이 끝날 때까지 수행한다. 다중 다향 회귀식과 동일한 화소인 Mixed Forest class의 한 화소(127.16°, 35.12°)를 선별하여 조화 분석을 이용하여 보정을 수행하였다. Fig. 4(a)는 2008년 NDVI 시계열 그래프로서 low peak를 탐지하는 과정을 나타낸 것으로 원래의 NDVI 시계열 자료와 조화 분석을 이용하여 생산된 임계값을 비교한 것이다. Fig. 4(b)는 원래의 NDVI 시계열 자료와 최종적으로 재생산된 NDVI를 비교한 것이다. 실제 NDVI 관측 값의 high peak를 유지하며 low peak가 제거되어 다중 다향 회귀식을 이용하였을 때보다 전반적인 식생 지수의 시계열 특성이 잘 나타남을 알 수 있었다.

### 4. 적용성 검사 및 비교 분석

본 연구의 적용성 검사 및 비교 분석을 위하여 2008년 SPOT/VGT NDVI S10 product를 사용하였다. 영상(image)의 총 1,009,200개 화소 중 478,697개 화소가 육지를 나타내며 이 중 noise 화소의 분포 비율은 Table 1과 같다. Noise 화소의 분포 비율은 적게는 19%에서 많게는 86%의 분포를 나타냈으며 평균적으로 약 47%의 분포 비율을 보였다. 이와 같은 분포 비율은 강수 후의 지표에 남아있는 수분(눈, 얼음, 물)의 영향 등

으로 인하여 나타나는 것으로서 이처럼 noise가 많은 NDVI를 이용할 경우 여러 산출물의 결과값에도 영향을 미치게 되므로 NDVI 자료의 noise를 보정 할 필요성이 있다.

따라서 본 연구에서는 Mixed Forest의 동일한 화소에 대하여 기존의 다중 다항 회귀식을 이용한 방법과 새롭게 제시한 조화 분석을 이용한 방법으로 각각 재생산하였다. 또한 보정 방법을 test 하기 위하여 한반도에 분포하는 비율이 높은 land cover 에 따라 4종류의 land type별 대표 되는 화소를 선별하여 적용성 검사를 수행하였다. 총

Table1. Noisy pixel distribution of land pixel for 10-day NDVI MVC during 2008

Date	Noisy pixel of land (%)	Date	Noisy pixel of land (%)	Date	Noisy pixel of land (%)
20080101	42	20080501	19	20080901	52
20080111	58	20080511	41	20080911	39
20080121	59	20080521	61	20080921	42
20080201	46	20080601	55	20081001	24
20080211	30	20080611	34	20081011	46
20080221	57	20080621	59	20081021	86
20080301	52	20080701	40	20081101	43
20080311	9	20080711	41	20081111	46
20080321	82	20080721	39	20081121	55
20080401	45	20080801	10	20081201	39
20080411	75	20080811	75	20081211	47
20080421	39	20080821	72	20081221	49

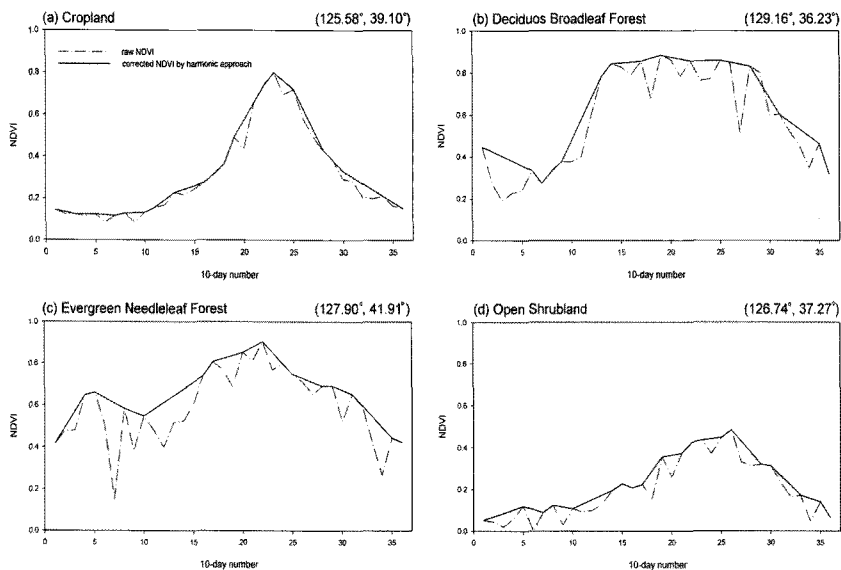


Fig. 5. Comparison raw NDVI with corrected NDVI by Harmonic analysis: (a) Croplands; (b) Deciduous Broadleaf forest; (c) Evergreen needleleaf forest; (d) Open shrubland.

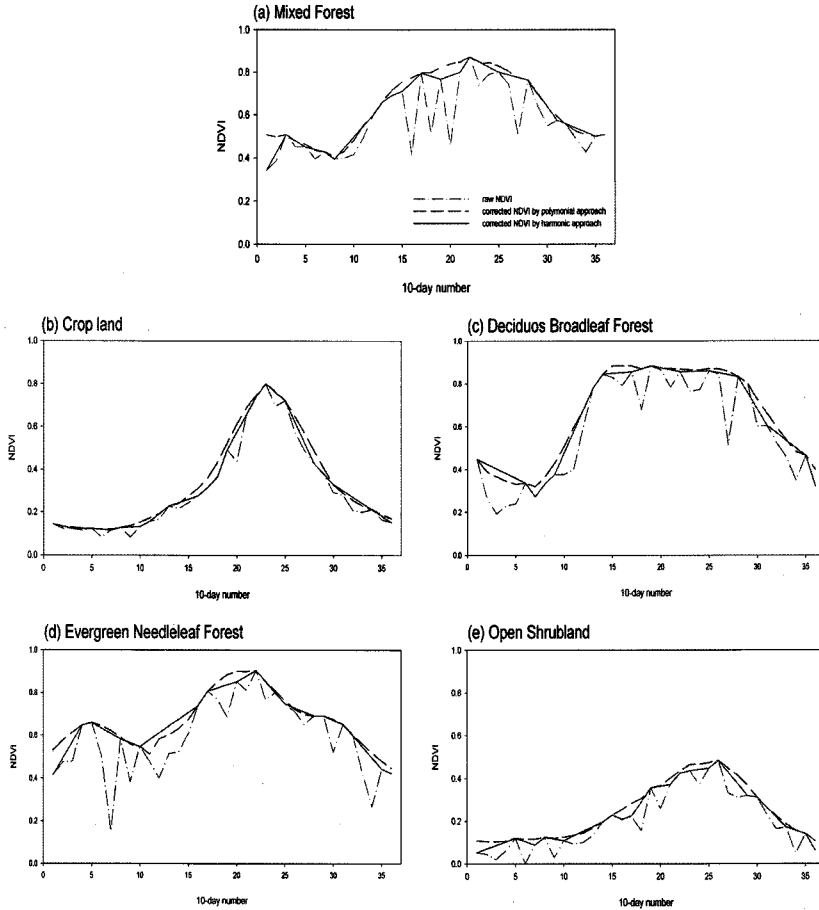


Fig. 6. Comparison raw NDVI with corrected NDVI by polynomial approach and corrected NDVI by Harmonic analysis: (a) Croplands; (b) Deciduous Broadleaf forest; (c) Evergreen needleleaf forest; (d) Open shrubland.

1,009,200개 화소 중 Croplands(농경지): 160,654개 (15.92%), Deciduous Broadleaf Forest(낙엽 활엽수림): 51,225개(5.08%), Evergreen Needleleaf Forest(상록 활엽수림): 12,081개(1.20%), Open Shrubland(관목지): 5,050개(0.50%)에서 분포가 균일하고 밀집되어있는 지역 내에서 각각 선별하였다.

Fig. 5(a)~(d)는 4종류의 land cover 화소에 대한 2008년의 NDVI 시계열 그래프로서 조화 분석을 이용하여 low peak 탐지 후 low peak 보간을 통해 최종적으로 재생산된 NDVI와 실제 NDVI 관측값을 비교한 것이다. 각 class별로 NDVI의 연변화는 다양한 분포 형태를 보였지만 실제 NDVI 관측값의 high peak를 유지하며 noise인 low peak가 제거된 것을 알 수 있었다.

Fig. 6(a)~(d)는 Mixed Forest를 포함하여 다섯 land type에 대해 다중 다항 회귀식과 조화 분석을 이

용하여 각각 최종적으로 재생산된 NDVI와 실제 NDVI를 비교한 것이다. 두 방법 모두 high peak를 유지하면서 NDVI low peak가 제거되어 전반적인 NDVI 시계열 특성이 잘 나타나지만 다중 다항 회귀식을 이용하여 재생산된 NDVI는 부분적으로 실제 값보다 과대 평가되는 문제점이 발생하였다. 반면 본 연구에서 제시한 조화 분석을 이용한 NDVI 재생산 방법은 부분적으로 과대 평가되는 문제점을 해결하였으며 실제 NDVI의 특성을 잘 반영하여 다중 다항 회귀식을 이용하였을 때 보다 보정이 잘 이루어졌다.

### 5. 요약 및 결과

본 연구에서는 SPOT/VGT센서로부터 취득된 2008

년 NDVI S10 자료를 이용하여 NDVI noise를 다중 방향 회귀식과 조화 분석을 이용하여 보정한 후 재생산하였다. 또한 보정 방법의 비교 분석을 위하여 한반도에서 land cover별 차지하는 비율이 높은 다섯 land cover를 대표하는 화소를 선별하여 적용성 검사를 수행하였다. 두 방법 모두 보정 이전에 나타났던 low peak가 제거되었을 뿐만 아니라, 전반적인 NDVI 시계열 특성을 잘 나타냈다. 하지만, 다중 방향 회귀식을 이용하는 방법은 부분적으로 실제 NDVI 관측값보다 과대평가 되는 문제점이 발생하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 조화 분석을 이용한 방법으로 보정한 결과 실제 NDVI 관측값의 high peak를 유지하면서 low peak가 제거되어 보다 현실적인 보정이 수행되었다. 조화 분석을 이용한 방법은 본 연구에서 사용하였던 SPOT 위성뿐 아니라 NOAA, Terra·Aqua 위성에서 나온 식생지수 영상에 대하여 적용 가능 할 것으로 사료된다. 또한, 특정한 한 화소 뿐 아니라 이미지에 대하여 자료 처리가 용이하며, 다중 방향 회귀식을 이용한 방법은 한 화소당 7회의 반복 횟수를 시행하지만 조화 분석을 이용한 방법은 low peak를 탐지 한 후 한번에 low peak를 보간하는 방법으로서 처리 시간도 길지 않아 효율적이다. 본 연구에서 제시한 조화 분해를 이용한 식생지수 보정 방법은 식생 지수와 관련된 산출물 및 육상 생태 자료의 기반 변수의 정확한 결과 산출에 영향을 미칠 것이며 그 활용도가 높을 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 기상청 “기상지진기술개발사업(CATER 2006-4106)”의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 염종민, 한경수, 김영섭, 2005. Identification of Contaminated pixels in 10-day NDVI image, 2005년도 한국기상학회 가을 학술대회 논문집, 300-301.
- Chen, J., Jonsson, P., and Tamura, M., et al, 2004. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky-Golay filter, *Remote Sensing of Environment*, 91: 332-344.
- Eidenshink, J. C. and J. L. Faundeen, 1994. The 1 km AVHRR global land data set: first stages in implementation, *International Journal of Remote Sensing*, 15(17): 3443-3462.
- Goward, S. N., Markham, B., Dye, D. G., Dulaney, W., and Yang, J., 1991. Normalized difference vegetation index measurement from the advanced very high resolution radiometer, *Remote Sensing of Environment*, 35: 257-277.
- Gutman, G., 1987. The derivation of vegetation indices from AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 8: 1235-1243.
- Holben, B. N., 1986. Characteristics of maximum value compositing imagines for AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 7: 1417-1437.
- Jakubauskas, M. E., Legates, D. R., and Kastens, J. H., 2001. Harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67: 461-470.
- Jonsson, P. and Eklundh, L., 2002. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(8): 1824-1832.
- L.Monika Moska, 2005. Temporal signatures and harmonic analysis of natural and anthropogenic disturbances of forested landscapes: a case study in the Yellowstone region, *Proc. OF MultiTemp 2005, 3rd International Workshop on the Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing images, Biloxi, Mississippi, USA, May 16-18, 2005*, 15-19.
- Miura, T., Huete, A. R., van Leeuwen, W. J. D., and Didan, K., 1998. Vegetation detection through smoke-filled AVIRIS images: An assessment using MODIS band passes, *Journal of*

- Geophysical Research*, 103(24): 32001-32011.
- Moody, A. and Johnson, D. M., 2001. Land-surface phenologies from AVHRR using the discrete Fourier transform, *Remote Sensing of Environment*, 75: 305-323.
- Prince, S. D. and Tucker, C. J., 1986, Satellite remote sensing of rangelands in Botswana. II. NOAA AVHRR and herbaceous vegetation, *International Journal of Remote Sensing*, 7: 1555-1570.
- Roerink, G. J., Menenti, M., and Verhoef, W., 2000. Reconstructing cloudfree NDVI composites using Fourier analysis of time series, *International Journal of Remote Sensing*, 21(9): 1911-1917.
- Stowe, L. L., McClain, E. P., and Carey, R., et al., 1991. Global distribution of cloud cover derived from NOAA/AVHRR operational satellite data, *Advances in Space Research*, 11(3): 51-54.
- Swets, D. L., Reed, B. C., Rowland, J. R., and Marko, S. E., 1999. A weighted least-squares approach to temporal smoothing of NDVI smoothing, 1999 *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) Annual Conference*, 526-536.
- Viovy, N., Arino, O., and Belward, A., 1992. The Best Index Slope Extraction (BISE): A method for reducing noise in NDVI time-series, *International Journal of Remote Sensing*, 13(8), 1585-1590.
- White et al., 1997. A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability, *Global Biogeochemical Cycles*, 11(2): 217-234.
- Y. Richard and I. Poccard, 1998. A statistical study of NDVI sensitivity to seasonal and interannual rainfall variations in Southern Africa, *International Journal of Remote Sensing*, 19(15): 2907-2920.