

IKM NDVI 10년 자료를 이용한 한반도 식생의 경년변동 분석

김인환 · 한경수[†] · 김상일

부경대학교 공간정보시스템공학과

Vegetation Interannualvariability Over Korea Using 10-Years 1KM NDVI Data

In-Hwan Kim, Kyung-Soo Han[†], and Sang-il Kim

Pukyong National University Department of Spatial Information Engineering

Abstract : Global warming and climatic changes due to human activities impact on marine and terrestrial ecosystems, which feedbacks to climate system. These negative feedbacks amplify or accelerate again global climate change. In particular, it is important to analyze vegetation change. This study attempts to analyze quantitatively vegetation change in Korea peninsula by using harmonic analysis. Harmonic-Analysis based on Fourier Transform is the method to effectively demonstrate for time series data. Especially, Harmonic-Analysis is very suitable method to analyze vegetation change because the vegetation repeats the cycle growth and extinction every year. The result of harmonic-analysis shows vegetation change as time passes. In this study, SPOT/VEGETATION S10 MVC NDVI data was used during last 10 years (1999-2008) in Korea Peninsula. Also, land type classification used MODIS Land Cover Map data. The study estimated that phase values moved up approximately 0.5 day per year in cropland and 0.8 day per year in forest.

Key Words : NDVI, SPOT VEGETATION, harmonic-analysis, Fourier Transform.

요약 : 지구온난화는 인간의 생활과 해양, 생태계에 영향을 미치며 또한 기후 시스템에 변화를 야기 시키며 전 지구 기후 변화를 가속화 시킨다. 이에 기후변화에 민감하게 반응하는 식생의 변화를 분석하는 일은 매우 중요하다. 푸리에 변환에 기초한 조화분석은 주기를 가지는 시계열 자료를 효과적으로 논증할 수 있는 방법이다. 특히, 식생은 1년을 주기로 계절에 따라 성장과 쇠퇴를 반복하기 때문에 조화분석을 이용한 분석에 매우 적합한 연구 대상이다. 조화분석을 통해 추출한 주기 성분은 시간에 흐름에 따른 식생의 변화를 개괄적으로 분석할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 SPOT/VEGETATION S10 MVC NDVI와 MODIS Land Cover Map 자료를 이용하여 토지 피복을 재 분류하고 지난 10년간 한반도 식생의 변화를 조화분석의 1주기 성분을 통해 분석하였다. 조화분석으로부터 추출된 성분을 선형회귀 분석을 이용하여 변화 정도를 관찰한 결과 Cropland는 1년에 0.5일, Forest의 경우 1년에 0.8일씩 성장 곡선의 주기가 빨라지고 있었다. 분석된 자료는 한반도의 장기간 식생의 변화를 효과적으로 분석할 수 있는 방법으로 사료된다.

접수일(2011년 1월 13일), 수정일(1차 : 2011년 2월 8일), 게재확정일(2011년 2월 8일).

[†] 교신저자: 한경수(kyung-soo.han@pknu.ac.kr)

1. 서론

최근 들어 지구 표면의 평균온도가 상승하는 현상인 지구 온난화가 가속화되어 발생하는 문제가 심화되고 있다. 세계적으로 지난 160년 동안 가장 기온이 높았던 해는 1998년이었고 최근 12년 중 11년이 과거 160년 동안 가장 기온이 높았던 상위 12년에 기록 되었다(Walker and King, 2008). 국립기상연구소의 연구 결과에 따르면 한반도의 연평균 기온은 1912년부터 2008년까지 96년간 1.7도 올랐고, 비슷한 기간 전 지구 평균기온이 0.74도쯤 상승한 점을 감안하면 온난화 속도가 평균보다 두 배 이상 빨라졌다. 급격한 도시화에 따라 기온이 상승하고, 이러한 기온상승에 따라 한반도가 아열대 기후로 서서히 변화하고 있다(국립기상연구소, 2009). 지구온난화로 인한 식생변화도 심각한 수준이며, 이러한 현상이 가속화될 경우 산림쇠퇴나 생물다양성 감소 등 생태계 교란이 야기된다. 따라서 환경 변화에 따른 식생 변화를 파악하는 것은 매우 중요하다. 원격탐사기술은 단시간 광범위한 영역에 대한 주기적 조사가 가능하며, 시·공간적 변동성이 큰 지역 관찰에 용이하다. 이러한 장점 때문에 우리나라 전 지역 식생분포의 변화에 대한 관측에 적합하다(염종민 외, 2008). 위성을 활용한 식생 변화에 대한 연구는 대부분 NDVI 시계열 자료의 변화 추이를 분석하여 활용하였다(박윤영, 한경수, 2006; 피경진 외, 2009). 지금까지 NDVI 시계열 자료의 연구를 위해 wavelet 변환에 기초한 다중 해상도의 위성 영상 분석이 이루어 졌다. 이것은 단기간의 자료해석이나 장기간의 자료 분석에 활용 되어왔다(Beatriz Martinez 등, 2008). 특히, 조화 분석은 NDVI자료를 진폭과 위상 값으로 정의된 Sine과 Cosine의 함수로 분해하여 시계열 자료를 분석한다(Jakubauskas et al., 2002). 또한 극 궤도 위성으로부터 취득한 NDVI 시계열 자료는 조화 분석 방법으로 독립적이고 특징적인 한 계절의 모습이나 생물학적 다양성을 효과적으로 논증 할 수 있다(Hermance, 2007). 한반도는 사계절이 뚜렷하고 대부분의 식생이 1년을 주기로 성장과 쇠퇴를 반복한다. 이에 조화분석의 성분을 분석하여 한반도 식생에 대한 변화를 관찰하는 것은 시간의 흐름에 따른 식생의 변화 양상을 분석하는데 효과적인 방법이다.

본 연구는 한반도 영역의 지난 10년간 NDVI자료를

이용하여 조화분석을 실시하였다. 조화분석을 통해 식생 성장 주기 변화 양상을 정량적으로 평가하였다. 또한 한반도는 위도에 따라 식생의 종류와 성장 형태가 다르므로 위도를 10구간으로 나누어 변화를 분석하였다.

2. 자료 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 위도 (32.8°N ~ 43.6°N), 경도 (124.0°E ~ 130.5°E)의 한반도 영역이며 연구영역은 Fig. 1과 같다. 시간적 범위는 1999년 1월에서 2008년 12월까지 총 10년간이며, NDVI 산출물은 SPOT/VEGETATION센서의 10일 종합 자료인 S10 MVC 자료를 사용하였다(Holben, 1986). MVC 방법은 10일 동안 동일한 위치의 화소 값에 대하여 식생지수는 크게 변하지 않는다는 가정하에, 가장 높은 값을 선택하는 방법으로 NDVI 산출 시 구름과 대기, 지표면의 수분에 의해 발생하는 오차를 최대값을 활용하여 오차를 보정하는 가장 일반적인 방법이다(Eidenshink and Faundeen, 1994). 또한 SPOT /VEGETATION 이미지는 넓은 관측 폭을 가지고, 식생 특성을 파악할 수 있는 채널을 가지고 있기 때문에 대규모의 시·공간적 식생 변동성을 연구하는데 유용하다(Huang and Siegert, 2006).

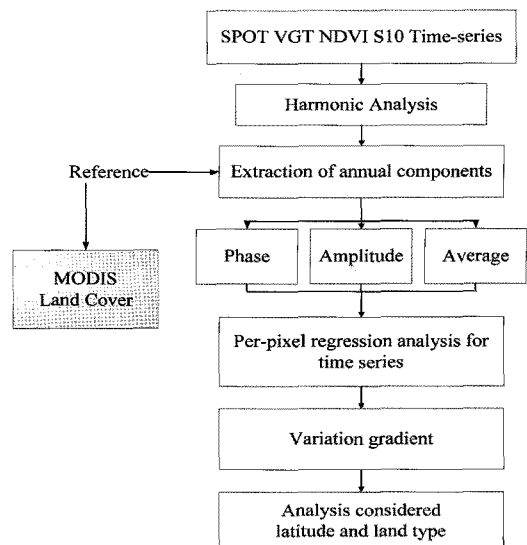


Fig. 1. Flowchart of the methodology.

SPOT/VEGETATION 센서는 1km의 공간해상도를 제공하며, 식생 지수(Normalized Difference Vegetation Index)는 VEGETATION 센서의 적색광(red) 채널과 근적외(near-infrared) 채널에서의 반사율 차이를 이용한 산출물이다. 한반도 지역에서 식생의 화소 만을 계산하기 위하여 토지 피복의 종류와 분포 상태를 알기 위한 보조자료로 2001년 제작된 MODIS Global Land Cover 1km 자료를 이용하였다. MODIS Global Land Cover map은 MODIS 센서의 산출물로서 전 지구 규모(Global land cover)이며 IGBP(International Geosphere-Biosphere Programme Data and Information System)에서 정의된 총 17개 classes로 분류된 체계를 기반으로 식생의 성장과 계절적인 변화 및 지형의 변화, 전지구적 및 지역적인 규모의 기후 변화를 알 수 있는 자료이다. 본 연구에서는 이 중 한반도 영역에 존재하는 총 15종의 토지 피복을 식생의 구분에 따라 Cropland(작농지대)와 Forest(산림지대) 그리고 연구에 사용하지 않는 토지 피복은 Null 값으로 재 분류하였다. 재 분류 방법은 Table 1과 같으며 분류된 식생의 분포는 Fig. 2와 같다.

전처리 과정을 거쳤음에도 불구하고 완전히 제거되지 못한 얇은 구름 및 구름 그림자 등의 영향과 에어로졸 및 미세 입자들의 영향, 그리고 강수 이후의 지표에 남아있는 수분의 영향으로 인해 산출된 시계열 NDVI 값들이 급격히 낮아지는 현상(noise)이 불규칙적으로 발

Table 1. Modis land cover products reclassification

Class	Histogram	New Class
Water	517832	Null
Evergreen Needleleaf Forest	12067	Forest Class
Evergreen Broadleaf Forest	4005	
Deciduous Needleleaf Forest	267	
Deciduous Broadleaf Forest	51098	
Mixed Forest	205635	
Closed Shrublands	1340	Null
Open Shrubland	5029	
Woody Savannas	11129	
Savannas	9754	
Grasslands	4720	
Croplands	160008	Cropland Class
Urban and Built-Up	24837	Null
Barren of Sparsely Vegetated	1479	

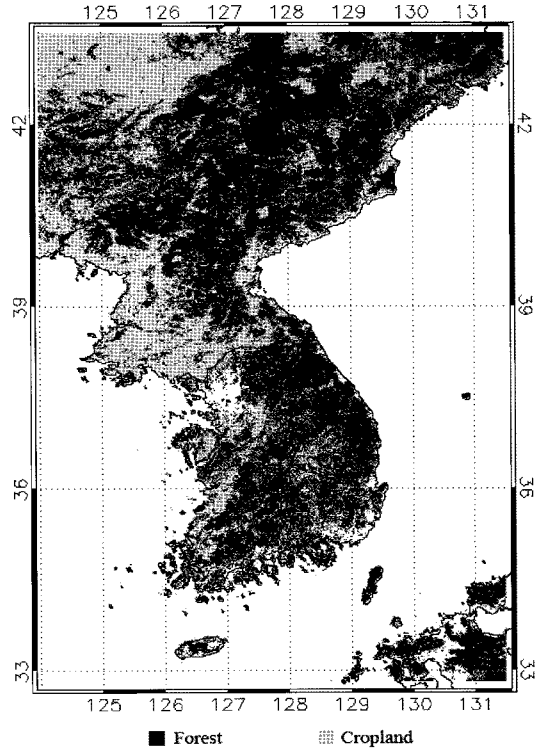


Fig. 2. Distribution of cropland and forest over study area.

생한다. 조화분석은 이러한 noise 제거를 위한 하나의 방법으로도 이용하였다. 조화분석(Harmonic analysis)을 이용하면 진폭(Amplitude), 위상(Phase), 평균(Average) 성분을 추출할 수 있다. 한반도 식생의 특성상 NDVI는 일반적인 주기인 연주기(Annual cycle)로 성장과 쇠퇴를 반복하기 때문에 본 연구에서는 조화분석의 1주기 성분만을 분석하여 나타내었다. 조화분석의 1주기 성분은 한번의 주기를 가지기 때문에 1년을 주기로 성장과 쇠퇴를 반복하는 한반도 식생의 분석에 적합하다. 본 연구에서 진폭은 분석 성분의 연중 최고 값을 나타내며, 위상은 연중 NDVI가 최고 값인 날을 의미하며 Julian day로 변환하여 분석하였다. 그리고 평균은 진폭 성분의 1년 평균 값을 의미한다. 또한 식생의 위도에 따른 성장패턴과 특성을 감안하여 위도를 총 10구간으로 세분화 시켜 분석을 수행하였으며, 그 결과를 바탕으로 선형 회귀 분석을 통해 10년간의 식생 변화 패턴을 관찰하였다. 선형회귀분석은 10년간의 식생에 총체적인 변화 흐름을 정량적으로 분석할 수 있는 효과적인 방법이다. 본 연구의 전체 흐름도는 Fig. 1과 같다.

3. 분석 및 결과

먼저 NDVI 자료를 조화분석을 이용하여 Cropland와 Forest 두 지역에 대한 1주기 성분의 진폭, 위상, 평균 성분을 추출하였다. 분석한 결과를 바탕으로 10년 자료의 선형회귀 분석을 통해 전체 연구기간에 대한 변화 정도를 관찰하였다. Fig. 3은 전체 주기 성분에 대하여 1주기 성분이 차지하는 영향의 비율을 나타낸 그림이다. Fig. 3에서와 같이 위도가 높아 질 수록 1주기 성분이 차지하는 비율이 매우 크며, Table 2에서 1주기 성분에 대한 정량적인 값을 보면 Cropland는 41.45%, Forest

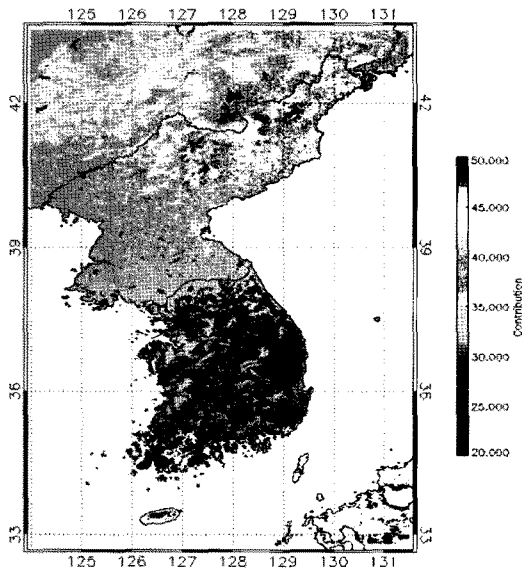


Fig. 3. Contribution of first harmonic component for 1999-2008.

Table 2. Contribution of first harmonic component (%)

Lat/Contribution	Cropland	Forest
42~43.6	45.85	44.04
41~42	47.36	43.01
40~41	42.85	41.27
39~40	41.23	39.27
38~39	39.23	35.71
37~38	33.66	28.66
36~37	30.51	25.92
35~36	28.47	25.62
34~35	23.91	16.54
32.7~34	17.48	13.36
Average	41.45	36.24

는 36.24%로 1주기 성분이 차지하는 비율이 매우 높았다. Cropland와 Forest 두 가지 식생 형태로 위도 별 조화 분석에서 추출된 각 요소에 대한 결과는 Fig. 4~Fig. 10과 같다. Fig. 4는 진폭 값의 10년 평균 값을 위도에 따라 나타내었다. 이는 위도에 따라 식생의 성장 특징이 다르다는 것을 보여주는 것이다. 이처럼 식생이 위도에 따라 성장 특성이 다르기 때문에 위도를 7구간으로 나누어 분석을 하였다. Fig. 5는 지난 10년간 진폭 값의 선형회귀 분석을 통해 분석한 기울기 값을 나타낸 그림이다. 분석된 기울기 값의 양의 값은 식생의 성장을 음의 값은 식생의 쇠퇴를 의미한다. 한반도 전역에서 기울기 값이 0.003 이하의 값을 가지나 위도 38° 이하 지역에서는 0에서 -0.03의 음의 값의 분포가 두드러지는 것을 볼 수 있다. 조화분석에서 식생의 변화 양상을 가장 뚜렷하게 관찰할 수 있는 성분은 위상 값이다. 1년 중 NDVI값이 최고 값을 가지는 시기를 나타내며, 이는 일정한 주기를 가지는 식생의 성장 패턴 변화를 정량적으로 분석이 가능하다. Table 3, 4와 Fig. 6은 선형회귀 분석을 통한 10년 자료 위상 값의 기울기 변화를 나타낸 것이다. Fig. 6에서 위상의 기울기 값은 위도가 낮아질 수록 감소하고 있으며 음의 값의 분포를 보이고 있다.

Table 2, Table 3은 위상의 기울기 값이 위도 별로 어떻게 분포하고 있는지를 나타낸 것이다. 위도가 낮아질 수록 기울기가 음의 값을 나타내는 지역이 많아지고 위도가 높아질 수록 기울기 값이 0에 가깝게 분포를 하고 있어 상대적으로 위도 38° 이상인 지역에서 안정적인 패턴을 보여주고 있다. 특히 Table 2의 34°~36° 지역과 Table 3의 34°~38° 지역은 음의 값이 나타나는 픽

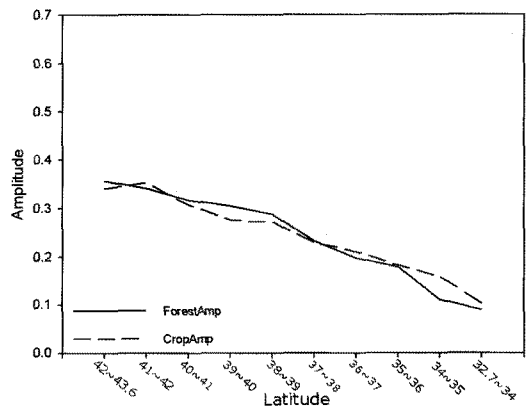


Fig. 4. Variation of amplitude zonal mean for 1999-2008.

Table 3. Slope value of cropland Phase(%)

Lat/Slope	2.0~	1.5~2.0	1.0~1.5	0.5~1.0	0~0.5	-0.5~0	-0.5~-1.0	-1.0~-1.5	-1.5~-2.0	-2.0~	Total
42-43.6	0.01	2.16	36.96	51.08	9.29	0.43	0.03	0.00	0.01	0.01	100.0
41-42	0.01	0.27	15.35	54.18	25.42	4.52	0.21	0.02	0.01	0.02	100.0
40-41	0.04	0.25	3.28	30.99	51.34	13.25	0.71	0.07	0.02	0.01	100.0
39-40	0.14	0.12	1.84	19.80	42.34	27.09	7.38	1.15	0.11	0.02	100.0
38-39	0.10	0.14	1.69	15.57	47.58	28.06	6.07	0.68	0.07	0.05	100.0
37-38	0.88	0.78	3.88	17.23	40.17	25.15	8.99	2.36	0.32	0.24	100.0
36-37	0.40	0.30	1.80	7.43	25.00	32.69	19.87	7.58	3.02	1.91	100.0
35-36	0.36	0.28	0.44	1.46	6.89	17.20	23.08	22.41	14.30	13.60	100.0
34-35	2.01	0.74	1.10	2.08	6.11	10.70	19.95	23.62	18.79	14.90	100.0
32.7-34	3.79	1.52	3.03	4.70	22.58	10.46	9.24	9.39	5.00	30.30	100.0

Table 4. Slope value of forest Phase(%)

Lat/Slope	2.0~	1.5~2.0	1.0~1.5	0.5~1.0	0~0.5	-0.5~0	-0.5~-1.0	-1.0~-1.5	-1.5~-2.0	-2.0~	Total
42-43.6	0.05	0.39	14.63	56.01	26.50	2.30	0.12	0.01	0.00	0.00	100.0
41-42	0.46	0.89	11.59	49.04	29.12	7.50	1.16	0.20	0.02	0.01	100.0
40-41	0.14	0.43	6.48	39.36	41.67	9.47	1.80	0.30	0.08	0.02	100.0
39-40	0.14	0.27	3.26	25.41	45.25	20.28	4.61	0.62	0.13	0.04	100.0
38-39	0.17	0.13	1.22	14.04	47.18	30.04	6.23	0.75	0.14	0.09	100.0
37-38	0.78	0.33	1.06	4.89	20.27	30.56	26.98	9.54	2.38	2.82	100.0
36-37	0.95	0.37	0.67	2.88	14.75	29.45	28.25	13.34	4.82	4.52	100.0
35-36	0.68	0.21	0.33	1.13	6.60	1.54	42.44	19.53	12.59	14.95	100.0
34-35	11.02	1.70	2.57	3.17	15.30	8.12	11.48	11.61	8.78	26.25	100.0
32.7-34	13.19	1.85	2.47	3.81	12.10	6.97	8.52	8.12	6.80	36.18	100.0

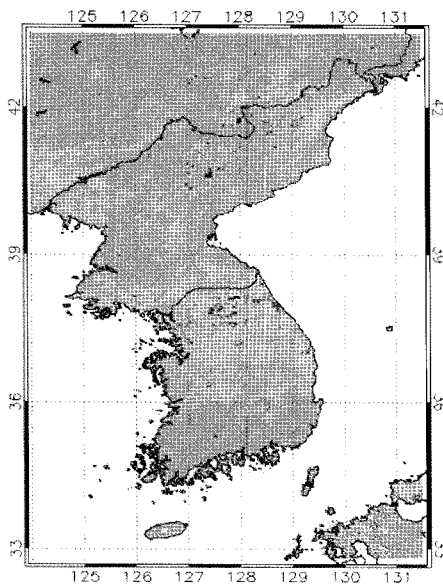


Fig. 5. Amplitude slope value using linear regression analysis for 1999-2008.

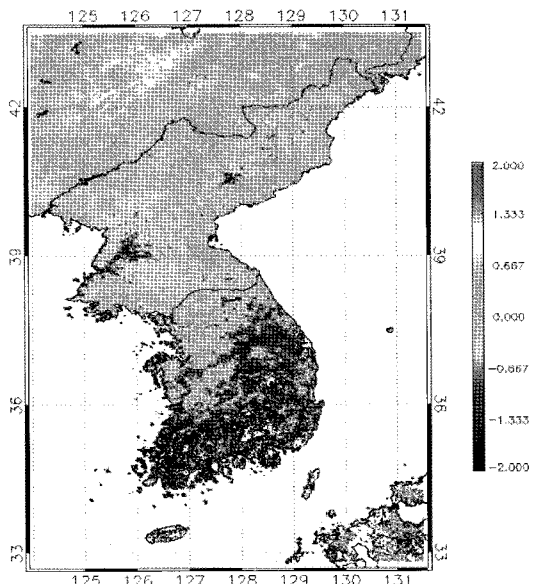


Fig. 6. Phase slope value using linear regression analysis for 1999-2008.

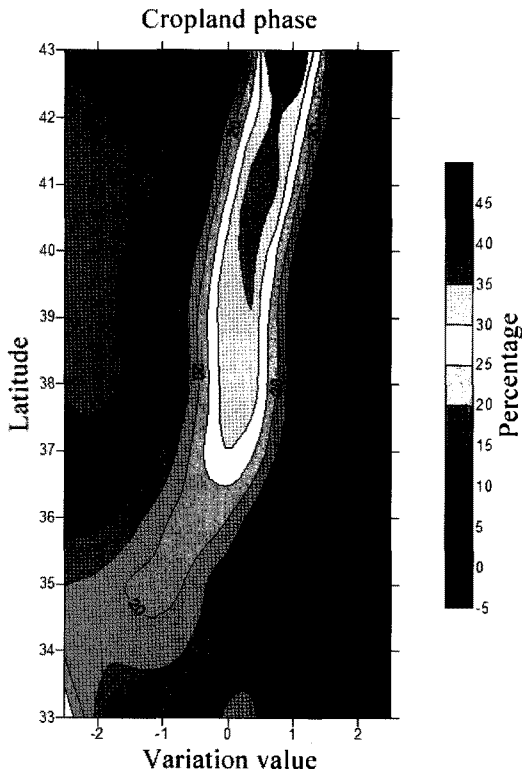


Fig. 7. Rate for cropland phase zonal mean using kriging gridding.

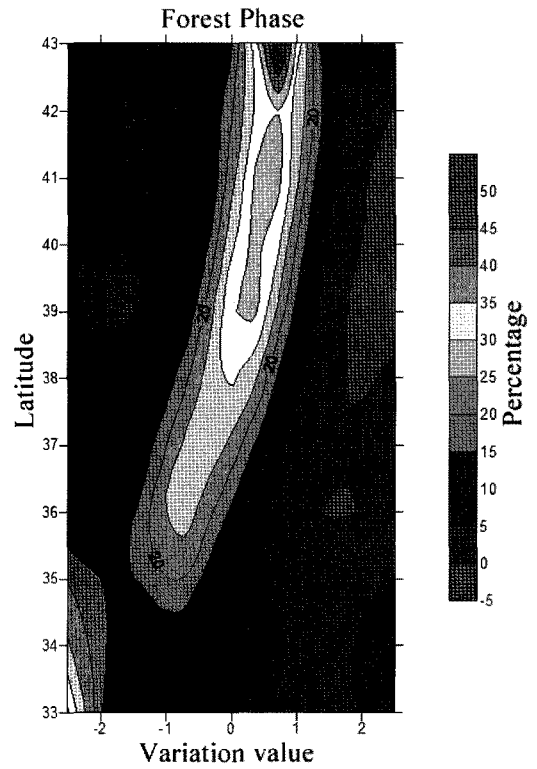


Fig. 8. Rate for forest phase zonal mean using kriging gridding.

셀이 매우 두드러지게 나타나고 있다. Fig. 7과 Fig. 8은 Kriging Method를 이용하여 위도 별 기울기 변화를

비율로 나타내어 이미지화 한 것이다. Kriging Method를 이용하면 연구영역의 위도별 변화 흐름을 시각적으

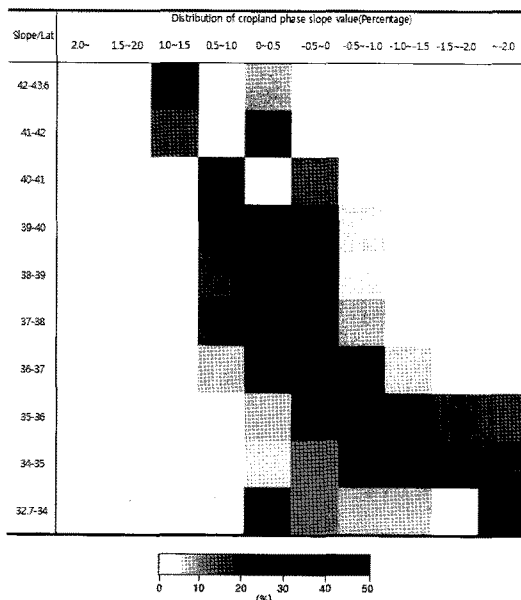


Fig. 9. Distribution of cropland phase slope value(%).

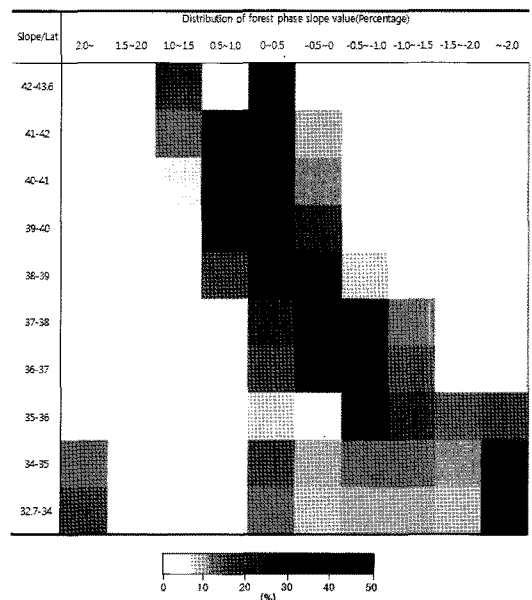


Fig. 10. Distribution of forest phase slope value(%).

로 쉽게 관찰할 수 있다. Fig. 7, 8에서 보는 바와 같이 Cropland와 Forest 두 지역 모두 위도 38° 이하로 갈수록 기온이 낮아짐에 따라 치우쳐져 있는 것을 볼 수 있다.

Fig. 9와 Fig. 10은 10년 동안 위상의 기온이 값의 변화량을 위도 별로 비율을 나타낸 그림이다. Fig. 9는 Cropland의 변화를 나타낸 그림이다. 위도 37° 이상인 지역에서는 위상의 기온이 값이 0에서 1.5 사이의 값을 가지는 화소의 분포가 두드러졌으며 위도 37° 이하 지역에서는 기온이 값이 0에서 -2.0까지 대부분의 값이 음의 값의 분포를 가지고 있었다. Fig. 10의 Forest 지역도 마찬가지로 위도 37° 이상인 지역에서는 위상의 기온이 값이 0에서 1.5 사이의 값을 가지는 화소의 분포가 두드러졌으며 위도 37° 이하 지역에서는 기온이 값이 0에서 -2.0까지 대부분의 값이 음의 값의 분포를 가지고 있었다. 즉, 시간의 흐름에 따라 저위도로 갈수록 식생의 성장이 가장 활발한 시기가 조금씩 빨라지고 있다는 것을 볼 수 있다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 1999년~2008년까지 SPOT/VEGETATION NDVI 자료를 이용하여 식생의 변화 특성을 조화분석 기법을 이용하여 분석하였다. 특히 위도 38° 이하 한반도 지역의 변화가 뚜렷하게 나타남을 확인하였다. 진폭 값은 전 위도 지역에서 큰 변화가 없이 매우 안정적인 변화를 보였고, 위상은 위도 38° 이하의 한반도 지역에서 변화가 뚜렷하게 관찰되었다. 위상 값을 Julian day로 환산한 결과 Cropland는 1년에 0.5일, Forest의 경우 1년에 0.8일씩 성장 곡선의 주기가 빨라지고 있었다. 즉, 지난 10년간 위도 38° 이하의 지역에서 NDVI 값이 가장 높은 시기가 조금씩 빨라지고 있다는 것을 볼 수 있다. 조화분석의 1주기 성분이 식생의 변화 양상을 명확하게 정의 내릴 수는 없지만 조화분석 기법을 이용하여 연주기를 가지는 토지피복에 대한 총체적인 분석이 가능하였다. 본 연구에서는 10년간 자료를 대상으로 식생의 변화를 분석하였다. 하지만 식생의 변화는 수십 년에 걸쳐 지속적으로 변화하고 있으므로 본 연구의 기간으로 식생의 변화를 명확히 탐지하기에

는 짧은 기간이었다. 향후 식생의 변화 흐름을 파악하기 위해 10년 이상의 장기간의 NDVI자료가 확보되어야 할 뿐만 아니라 강수량, 일사량, 기온 등 여러 가지 기후자료를 보강하여 더욱 명확하게 한반도 식생에 대한 변화 흐름을 파악해야 할 것이다.

사 사

이 논문은 국토해양부 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- 국립기상연구소, 2009. 기후변화 이해하기 2 한반도 기후변화: 현재와 미래, 국립기상연구소 2009.
- 박윤영, 한경수, 2006. SPOT/VEGETATION NDVI 자료를 이용한 동북아시아의 생태기후지도, 한국농림기상학회지, 8(2): 86-96.
- 염종민, 한경수, 이창석, 박윤영, 김영섭, 2008. SPOT/VEGETATION NDVI 자료를 이용한 북한지역 식생 변화 탐지, 한국지리정보학회지, 11(2): 28-37.
- 피경진, 한경수, 박수재, 2009. 동아시아의 황사발원지들에 대한 토지피복 비교 연구: 고비사막과 만주, 대한원격탐사학회지, 25(2): 2009, 175-184.
- Beatriz Martinez, Maria Amparo Gilabert, 2008. Vegetation dynamic from NDVI time series analysis using wavelet transform, Remote sensing of Environment, 113(2009): 1823-1842.
- Eidenshink, J. C. and J. L. Eidenshink, 1994. The 1km AVHRR global land data set: First stages of implementation. International Journal of Remote Sensing, 15(17): 443-462.
- Holben, B. N., 1986. Characteristics of maximum values composite images from temporal AVHRR data. International Journal of Remote Sensing, 7(11): 1417-1434.

- Huang, S. and F. Siegert, 2006. Land cover classification optimized to detect areas at risk of desertification in North China based on SPOT VEGETATION imagery, *Journal of Arid Environments*, 67: 308-327.
- J. F. HERMANCE, 2007. Stabilizing high-order, non-classical harmonic analysis of NDVI data for Average annual models by damping model roughness, *International Journal of Remote Sensing*, 28(12), 20 June 2007, 2801-2819.
- Mark E. Jakubauskas, David R. Legates, Jude H. Kastens, Crop identification using harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data, *Computers and Electronics in Agriculture* 37 (2002) 127-139.
- Walker, G. and King, S. D., 2008. Hot Topic - 기후변화, 생존과 대응전략, *The Hot Topic(양명찬 역)*, 서울조운커뮤니케이션.