

시계열 MODIS를 이용한 토지피복의 반사율 패턴: 2004년~2008년

윤정숙*† · 강성진** · 이규성**

*국토모니터링 기술개발 센터 인하대학교, **사회기반시스템공학부 인하대학교

The Reflectance Patterns of Landcover During Five Years (2004 ~ 2008) Based on MODIS Reflectance Temporal Profiles

Jong-suk Yoon*†, Sung-Jin Kang**, and Kyu-sung Lee**

*Land monitoring research center, Inha University, **Department of Geoinformatic Engineering, Inha University

Abstract : With high temporal resolution, four times receiving during a day, MODIS images from Terra and Aqua satellites provide several advantages for monitoring spacious land. Especially, diverse MODIS products related to land, atmosphere, and ocean have been provided with radiance MODIS images. The products such as surface reflectance, NDVI, cloud mask, aerosol etc. are based on theoretical algorithms developed in academic areas. Comparing with other change detection studies mainly using the vegetation index, this study investigated temporal surface reflectance of landcovers for five years from 2004 to 2008. The near infrared (NIR) reflectance in urbanized and burned areas showed considerable difference before and after events. The specific characteristics of surface reflectance temporal profiles are possibly useful for the detection of landcover changes and classification.

Key Words : MODIS, Reflectance, Temporal profile, Land monitoring, Landcover changes.

요약 : Terra와 Aqua 위성에서 촬영되는 MODIS 영상은 매일 수신되는 중해상도 영상으로써 광범위한 지역에 대한 모니터링을 하는데 여러 가지 장점을 제공한다. 특히, MODIS 영상은 신뢰성 있는 알고리즘을 적용하여 만들어진 대기/해양/육상 관련한 여러 가지 영상(products)들을 함께 제공함으로써 사용자가 데이터를 확보하여 바로 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 북한이라는 제도적으로 제약이 따르는 지역을 포함하는 한반도의 경우, 활용상의 제약이 따르지 않는 점이 중해상도급 MODIS 영상의 큰 장점이라고 할 수 있다. 본 연구는 기존의 시계열 모니터링에서 주로 식생지수를 모니터링하는 방법과는 달리, 대기 보정을 거쳐 대기의 효과를 제거한 250m급 MODIS 반사율 영상을 이용하여 시계열로 변화되는 반사율을 대상으로 하였다. 2004년에서 2008년까지 5년 동안의 각 토지 피복이 보이는 반사율 패턴과 함께, 토지 피복이 변화된 지역에서 관찰되는 반사율의 변화를 살펴 보았다. 7개의 토지 피복별 근적외선, 적색광 반사율과 NDVI의 시계열 자료에서 토지 피복과 계절적 영향이 근적외선 반사율에서 가장 민감하게 반영되고 있는 것을 알 수 있다. 토지 피복에 따른 반사율 패턴은 토지 피복 분류 및 변화된 지역을 탐지하는데 기본적으로 이용될 가능성을 제시한다.

1. 서론

국토 모니터링은 국토라는 대상을 지속적으로 관찰함으로써, 국토에 대한 변화를 탐지, 그 영향에 대한 분석을 통해 정보를 생성할 수 있게 해 준다. 대단위 면적인 국토를 효율적으로 모니터링을 가능하게 하는 위성 영상은 지구의 표면을 촬영하여 지표의 분광반사율을 기록하여 토지피복이나 지표 상태에 대한 관찰을 가능하게 한다. 뿐만 아니라, 위성영상이 가지는 주기성을 이용하여 정해진 공간에 대한 지속적인 관찰을 가능하게 함으로써, 국토를 모니터링 하는데 있어서 많은 장점들을 제공하여 왔다. 토지 피복을 지속적으로 관찰함으로써 발견되는 변화는 계절에 따른 식생의 변화나 도시 개발 및 홍수, 산불과 같은 자연 재해에 의해 갑자기 발생하는 변화, 또는 사막화와 같이 긴 시간을 두고 서서히 변화해가는 경우가 있다. 이러한 변화를 관찰하기 위해서는 동일한 지역에 대한 지속적인 관찰 과정 즉 모니터링을 통해 이전과 다른 변화를 찾아 볼 수 있다.

토지 피복의 지속적인 관찰을 가능하게 해주는 위성 영상으로 공간해상도가 중/저 해상도에 해당되지만, 매일 수신되는 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)의 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), SPOT의 VEGETATION 그리고 Terra/Aqua의 MODIS 영상 등이 있다. AVHRR과 VEGETATION의 경우는 1km의 공간해상력을 가지나 MODIS의 경우 250m, 500m, 1km의 다양한 공간해상력을 가진 영상을 공급한다. 특히, 지구의 토지 피복 중 상당한 양을 차지하는 식생의 경우, 계절에 따른 식생의 변화를 모니터링을 함으로써 식생의 변화 패턴을 분석하는 연구가 많이 진행되어 왔다. SPOT의 VEGETATION이나 AVHRR 영상의 경우 여러 장의 시계열 영상을 이용하여 모니터링 하는 경우에는 주로 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 모니터링이나 식생 변화 탐지 등에서 많이 연구되어 왔다 (염종민 외, 2008; Han *et al.*, 2004, Zhang *et al.*, 2003). AVHRR 영상은 1km 공간해상력을 가진 영상으로 주로 해양 관련한 분야에 중점을 둔 영상자료이며, Terra 위성이 발사되기 전까지 전 세계적인 지표변화에 대한 자료로 많이 이용되었다. NASA EOS(Earth Observing System)프로그램의 Terra와 Aqua 센서에

서 촬영하는 MODIS 영상이나 ASTER영상이 모니터링 분야에 있어서 가지는 의미는 다른 위성영상들과는 달리 육상, 대기, 해양 분야에 있어서 학술적으로 신뢰성 있는 알고리즘들을 기반으로 생성된 주목할 만한 자료(products)들 즉, 반사율 영상, 대기 정보 관련 영상, 식생지수 영상, 변화 탐지 영상을 함께 공급한다는 것이다 (Miura *et al.*, 2008).

동일한 지역을 여러 번 촬영한 시계열 영상의 특성을 이용하여 변화를 탐지하기 위한 1년간의 시계열 그래프를 살펴보는 방법은 계절에 따른 자연스런 변화와 도시 개발 및 자연 재해 등에 의해 발생하는 변화를 구분할 수 있다는 장점을 지니고 있다(Coppin *et al.*, 2004). 여러 장의 영상을 비교하게 되는 시계열 그래프를 이용하는 방법은 대기 보정이나 정확한 기하 보정 등의 과정을 수반하게 된다(Coppin *et al.*, 2004). 그러므로 AVHRR이나 VEGETATION영상의 시계열 분석의 경우 주로 식생 지수와 같은 지수를 기반으로 한 시계열 그래프를 이용하는 방법이 이용되나, MODIS와 같은 경우는 대기 효과가 보정된 지표면의 반사율 영상을 제공하므로 이를 이용한 시계열 그래프를 살펴 보는 방법을 고려할 수 있다. Zhang *et al.* (2006)에 의하면 산림에서 나타나는 계절에 의한 변화 특성에 대한 대기 보정을 거친 반사율의 시계열 그래프를 위해서는 눈이나 대기에 대한 영향을 추가적으로 제거한 후에 계절적인 변화 특성을 살펴볼 수 있음을 설명하였다.

반사율을 기반으로 한 시계열 그래프를 이용하는 방법은 반사율 영상에 대한 신뢰도가 확보되어야 할 필요성이 있다. 반사율 영상은 대기 보정을 거치기 때문에 반사율에 대한 정확도는 대기 및 지표의 상태, 태양과 센서의 기하학적 조건에 의하여 영향을 받게 된다. MODIS 반사율의 정확도는 전 세계에 분포되어 있는 AERONET(Aerosol Robotic Network)의 150개 지역 (Fig. 1)에서 측정되는 지상 관측 자료와 복사전달모형을 이용하여 계산된 반사율의 값과 MODIS 반사율 영상 4988개의 값을 비교하는 과정을 통해 2003년부터 검증되었다. 적색광 밴드는 전체 지역의 86.62%, 근적외선 밴드는 93.64%의 지역에서 $\pm 5\% + 0.005$ 의 오차범위 내에 들어오는 정확도를 보여준다(http://mod09val.ltdri.org/cgi-bin/mod09_c005_public_allsites_onecollection.cgi). 지상 관측 자료를 이용한 정확도 측정



Fig. 1. AERONET sites for MODIS surface reflectance calibration.

방법 이외에 다른 영상 자료의 반사율 영상과 비교하는 방법으로 MODIS 반사율 영상의 신뢰성이 연구되어 왔다. Liang *et al.* (2002)은 지상에서 spectroradiometer로 측정한 반사율과 Landsat ETM+ 영상을 이용하여 MODIS 반사율 영상이 절대 오차 5% 내외로 신뢰성 있는 자료임을 밝혔다.

본 연구는 현재 공급되고 있는 MODIS 반사율 자료를 이용하여 토지 피복에 따른 반사율 특성을 살펴 보았다. 토지 피복은 보조 자료로 쓰인 ASTER 영상에서 확인할 수 있는 토지 피복과 변화된 지역으로 확인되는 지역에 대한 반사율을 살펴 보았으며, 그 밖에 MODIS 영상 자체에서 찾아 볼 수 있는 강릉 양양 대형 산불의 경우에 대해 반사율의 패턴을 살펴 보았다. 매일 수신되는 MODIS 영상의 특성상 다년간 지속적인 반사율 관측이 가능하므로 지표 변화를 탐지하는데 있어서 활용가능하며, 변화된 지역을 탐지하는데 필요한 조건을 찾는 데 바탕이 된다고 할 수 있다. 또한 반사율 영상은 변화 지역 탐지나 식생 지수, FPAR(Fraction of Photosynthetically Active Radiation)/ LAI(Leaf Area Index)와 같은 여러 가지 식생 관련 인자를 추출하는데 기본적으로 사용되는 자료이므로 토지 피복에 대한 반사율 자료의 이해는 필수적이며, 반사율 자료를 기반으로 만들어진 자료들의 정확도에도 영향을 미치게 된다. 이 연구는 시계열의 MODIS 영상에서 나타나는 토지 피복의 반사율 특

성을 바탕으로 한반도를 모니터링 하기 위한 기초자료로서 활용할 수 있으며, 지표변화 발생 시 반사율에 나타나는 특성을 살펴보고자 한다.

2. 연구 자료

1) MODIS

Terra와 Aqua 위성에 장착된 MODIS 센서에서 촬영되는 MODIS 영상은 0.405~14.385 μm 의 파장 영역에 대해 36개 영상으로 기록되며, 12bits의 radiometric resolution으로 250m(1, 2밴드), 500m(3~7밴드), 1 km(8~16밴드)의 세 가지 공간 해상도로 구성된다. 육상과 관련된 MODIS 자료(product)는 1일, 8일, 16일, 한 달, 분기 및 년도 별 다양한 주기로 LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center) Earth Observing System Data Gateway에 의하여 공급이 되고 있다. MODIS 위성 영상들은 WGS84 데이터의 Sinusoidal 투영에 의한 위, 경도 10° 간격 단위로 영상이 공급되고 있으며 한반도 전 국토 영역은 세 개의 tile (h27v4, h27v5, h28v5)의 공간적 범위에 위치를 하게 된다. 이 연구에서는 MODIS의 지표에 대한 반사율의 패턴을 살펴보고자 하므로 육상 관련 자료 중 반사율 (MOD09) 영상을 8일 간격으로 합성한 8-day 반사

을 자료를 이용하였다.

MODIS의 지상 관련 자료 중 지표 반사율 영상은 대기를 구성하는 구성 인자들의 성분을 바탕으로 대기 및 구름의 효과를 제거한 지표에서의 반사율을 나타내는 영상으로 대기 효과를 보정하기 위해서 기압, 오존, 수증기, 에어로졸의 입력 자료를 이용하게 된다. 이 과정을 위해서 MODIS 반사율영상은 복사전달모델의 하나인 6S(Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum)를 이용하여 계산된 Look-up 테이블을 함께 이용함으로써 반사율 계산을 빠르게 처리한다. 복사전달모델에 사용되는 오존이나 기압 등에 대한 정보는 NCEP (National Centers for Environmental Prediction) GDAS (Global Data Assimilation System)에서 제공하는 자료를 이용하거나 MODIS 자체의 product들을 이용한다. 그러므로 또 하나의 MODIS 반사율 자료의 특성은 MODIS product 중에 구름(MOD35), 수증기(MOD05), 오존(MOD07) 및 에어로졸(MOD04)을 함께 이용하고 있다는 점을 들 수 있다(Vermote and Vermeulen, 1999).

매일 수신되는 MODIS 영상은 상당 양의 구름이 포함되는 경우가 많으므로 8일 동안의 영상을 이용하여 8-day 반사율 합성 자료를 생성하는데, 한 달에 3개 내지는 4개에 해당하는 자료가 만들어지며 1년에 모두 46개 영상을 얻게 된다. 이 연구에서 사용한 자료는 2004년부터 2008년의 5년간에 해당하는 250m 8-day 반사율 합성 자료로서 1년간 진행되는 식생의 성장 패턴을 5년간에 걸쳐 확인 할 수 있다. 반사율의 패턴은 250m 영상을 이용하여 관찰되므로 사용한 광학 밴드는 250m 공간해상도를 가진 적색광(620~670nm)과 근적외선(841~876nm) 영역이 된다. 영상은 LP DAAC를 통해 확보하였고, 각 영상은 MODIS Reprojection Tool을 이용하여 UTM으로 좌표 변환하여 사용하였다. Fig. 2는 2008년 중 제작된 한반도의 250m급 MODIS 8-day 반사율 영상으로 UTM좌표로 변환한 한반도의 영상을 보여준다.

2) ASTER

이 연구에서 ASTER영상은 중해상도 영상에 해당하는 MODIS영상의 동일한 토지 피복으로 이루어진 하나의 화소를 샘플로 선정하는데 보조적인 참고 자료로써



Fig. 2. MODIS 8-day composite image of the Korean Peninsula.

이용하였다. Fig. 3은 이 연구에서 사용한 ASTER 영상을 보여주는데, 이 영상은 수도권을 포함하는 지역의 2004년과 2006년 10월의 영상으로 2년간의 토지 피복의 변화를 찾아 볼 수 있다. ASTER 영상의 공간해상도는 15m로써 공간해상도가 약 231m에 해당하는 MODIS 영상의 하나의 화소가 차지하는 면적은 약 16~17개의 ASTER 영상 화소에 해당된다.

3. 연구 방법

1) 토지피복별 MODIS 화소 선정(Sampling)

2004년과 2006년의 ASTER영상에서 약 231.65m의 MODIS 영상 하나의 화소에 해당되는 위치를 찾아 토지 피복에 따른 반사율 패턴을 살펴 보기 위하여 각 토지 피복에 대한 샘플을 선정하였으며, 이 때 가로, 세로가 각각 16~17개의 ASTER 영상의 화소로 이루어진 범위 안에 최대한 동일한 토지 피복으로 이루어진 지역을 찾아 선정하였다. 두 시기의 ASTER영상에서 동일한 토지 피복으로 확인되는 지점은 2004년부터 2006년의 기간 동안 변화 없이 동일하게 유지되는 것을 의미한다고 할 수

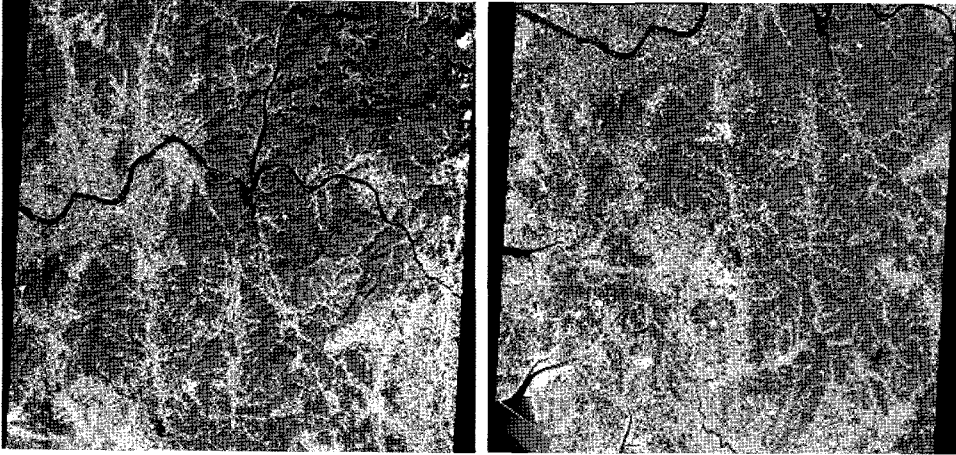


Fig. 3. ASTER composite images acquired in October 2004(left) and 2006(right).

있으므로 동일한 MODIS 영상의 화소에 대한 반사율 패턴을 살펴볼 수 있다. 살펴보고자 하는 토지 피복은 침엽수, 활엽수, 물, 도시, 골프장(초지), 논, 나대지의 7가지로 각 토지 피복의 1년간의 또는 2004년에서 2008년까지 5년간의 변화 패턴을 살펴보고, 또한 2004년과 2006년 ASTER영상에서 서로 다른 토지피복 형태로 변화한 경우에 대해서도 반사율 변화 패턴에 대해 살펴 보았다. 토지 피복이 변화한 경우에는 산림 지역을 개발하여 대규모 아파트 단지 및 도시계획 단지로 변경하는 경우가거나 대형 산불과 같은 자연 재해로 인한 급작스런 변화가 가장 눈에 띄게 변화한 사례이며, 반대로 산림화의 경우는 공원 조성과 같은 사례로써 이는 상당히 드물게 발견할 수 있다. 각 토지 피복마다 MODIS 영상에서 10개 이상의 샘플 화소들을 선정하였다.

토지 피복 중 산림은 침엽수와 활엽수의 지역으로 분리하여 선정하였으며, ASTER영상에서 침엽수 및 활엽수의 수종 구별이 어려운 경우는 인터넷 포털에서 제공하는 항공 영상을 이용하여 침엽수와 활엽수 지역에 대한 선별을 하였다. 약 230m×230m 에 해당하는 지역이 모두 침엽수나 활엽수로 구성되는 경우는 우리나라 산림 구성 특성으로 볼 때 찾기 어려운 경우이므로, 그 지역의 우점종이 침엽수 및 활엽수로 이루어진 지역이라고 판단 할 수 있다. 도시 피복의 경우는 도시를 이루는 여러 가지 지형 지물 및 소수 개체목을 포함한 식생 등이 혼합된 형태를 보이게 된다. 도시 지역에 대한 샘플 선정은 고층 아파트로 이루어진 지역이나 일반적인 도시 내부 지역 등 다양한 도시의 특성을 반영하도록 샘플을 선정하였다. Fig. 4는 도시 지역으로 보이는

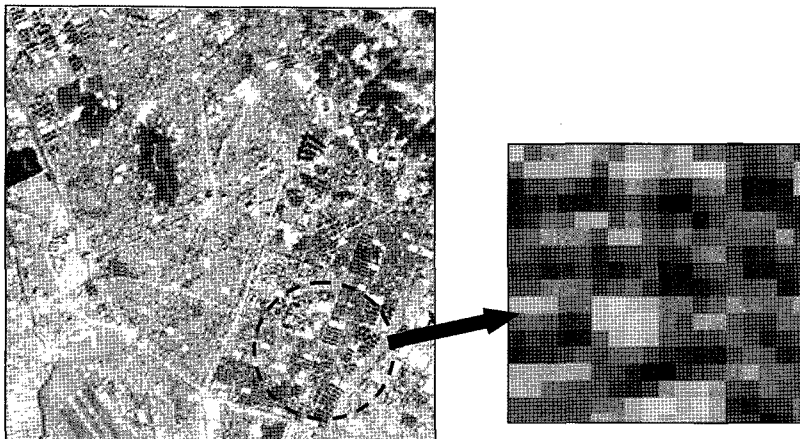


Fig. 4. Urban area composed of complex land covers in the ASTER image.

ASTER 영상의 일부이며, Fig. 4의 오른쪽은 MODIS 영상의 하나의 화소가 차지하는 면적과 동일한 범위에 해당하는 ASTER 영상을 보여주고 있다. 고층 아파트 지역은 Fig. 4의 오른쪽 그림과 같이 고층아파트, 그림자, 녹지가 섞인 형태를 ASTER영상에서 확인할 수 있으며, Fig. 4의 왼쪽 영상과 같이 도시 지역은 이러한 복잡한 지표 형태가 뒤섞인 특성을 보인다. 골짜기는 ASTER영상에서 상당히 눈에 잘 띄므로 그 특성을 살펴 보기 위하여 선정하였으며, 약 230m×230m에 해당하는 공간에 초지 및 산림이 다소 혼합된 경우로, MODIS 영상의 하나의 화소가 차지하는 면적 전체가 순수한 초지일 가능성은 적으나 이러한 경우는 산림이 다소 포함된다.

이 밖에도 2004년과 2006년 ASTER영상에서 뚜렷하게 변화가 발생한 지역을 선정하여 토지 피복이 변화된 지역에 대한 반사율 변화 특성을 살펴 보았다. 토지 피복이 변화된 경우는 주로 대규모의 산림지역이 도시로 개발 된 경우 가장 뚜렷하게 변화를 찾아 볼 수 있는 지역으로 보인다. Fig. 5는 수도권 지역 중 대규모 도시 개발 지구에 해당하는 성남시 판교동에 해당하는 지역으로 2004년 (왼쪽)에는 대규모의 산림 지역이었던 곳이 2006년 (오른쪽)에는 개발되어 도시가 들어서기 전에 나대지의 형태로 변화된 특성을 보여준다. 이 지역 이외에도 부분적으로 개발되어 산림이 훼손된 여러 지역이 발견되나, 이 지역이 가장 대규모의 형태로 토지 피복이 변형된 예를 보여준다.

2) 이상값(outlier) 처리

MODIS의 육상 관련 자료 중 대기 효과를 제거한 후 지표면 반사율을 영상을 제작하는 반사율 영상(MOD09)은 제작하는 과정 중에 구름을 제거하는 과정이 포함되어 있으며, 매일 수신되는 일일단위의 MODIS 반사율 영상을 합성한 8-day 합성 영상을 사용하였으므로 구름에 대한 영향은 제거된 상태로 이해 할 수 있다. 대기 상태에 따른 처리를 거처서 생성되는 일곱 개의 MODIS 영상은 처리에 대한 결과를 알려주는 Quality Control(QC) 레이어와 함께 제공된다. QC 레이어를 통해 처리가 잘못된 경우와 화소의 값이 누락되는 경우 등 화소값에 대한 신뢰성을 알려줌으로써 영상의 질을 표현하고 있다. 그러나 이 연구에서는 많은 양의 자료를 사용 하기에 QC 레이어를 참조하지 않고, 반사율 영상에 대한 자료를 직접 사용하였다.

일반적으로 구름의 영향을 완전히 제거하였다면 하나의 화소값이 가지는 지표면의 반사율은 1년을 주기로 볼 때 식생 지역의 경우 계절적인 영향에 의한 주기적인 변화 이외에는 대체적으로 일정할 것이라고 생각할 수 있다. 그러나 실제로 MODIS 영상을 구성하는 화소를 기반으로 한 반사율은 구름에 대한 영향에 의한 이상치를 포함하여 반사율이 급작스럽게 떨어지는 현상들이 상당히 많은 부분에 있어서 일어나고 있음을 알 수 있다. 이러한 경우는 대기 보정이 잘 되지 않은 경우이거나, 얇은 연무와 같은 구름이 존재하는 경우 혹은 강우에 의해 반사율이 급격히 떨어지는 경우 등에 해당된다

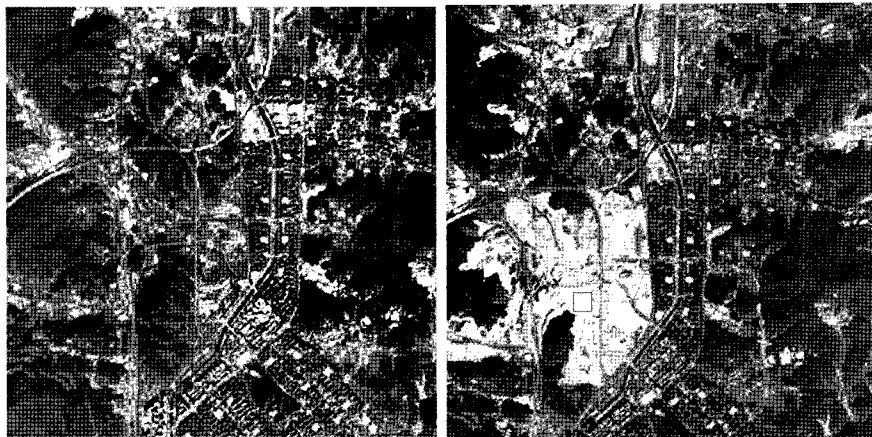


Fig. 5. Urbanized area of Pan-Kyo dong, Sung-Nam city during two years from 2004 to 2006 .

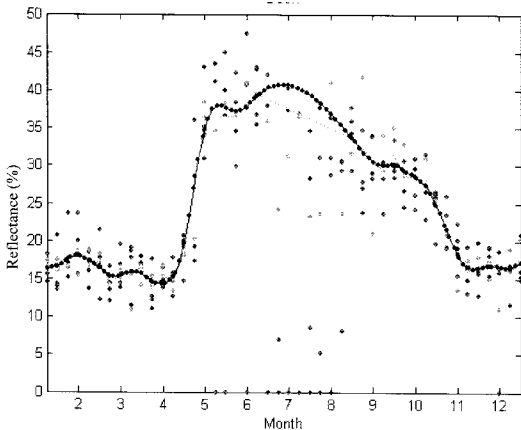


Fig. 6. Reflectance of deciduous from 2004 to 2008(points) and the spline interpolated reflectance curve for one year.

고 할 수 있다. Fig. 6은 1년에 8일 간격으로 기록되는 46개 반사율 영상에서 살펴볼 수 있는 2004년에서 2008년의 근적외선 반사율을 보여주고, 이 반사율을 기반으로 반사율의 차이 큰 이상치를 제거한 후 spline interpolation에 의한 반사율 곡선을 보여준다. 그래프의 x축은 1년을 주기로 한 월을 보여주며, y축은 반사율을 백분율로 나타내었다. 그러나 그래프는 갑자기 반사율이 높아지거나 떨어지는 현상을 보이는 이상값을 포함함으로써 반사율 값의 변동이 상당히 많이 일어나고 있음을 알 수 있다. 이러한 반사율의 이상값에 해당하는 값을 제거하기 위하여 반사율의 통계치를 이용하여 이상값을 보여주는 반사율을 제거하였으며, 또한 이상값이 제거된 8일간의 영상 자료를 바탕으로 보간 하여 1년간의 반사율 패턴을 살펴볼 수 있는 반사율 곡선으로 처리하였다.

4. 연구 결과

침/활엽수, 골프장(초지), 논, 나대지, 도시, 물의 7개 토지 피복에 대한 반사율의 관찰은 1년을 주기로 2004년부터 2008년까지 모두 5년에 걸쳐 이루어졌다. 1년간의 시계열 그래프와 5년간의 시계열 그래프의 패턴을 살펴 변화되지 않은 지역과 변화된 지역의 패턴의 변화를 살펴 보았다.

1) 1년의 시계열 그래프

각 토지 피복당 약 10개 이상의 MODIS 화소를 바탕으로 한 반사율 그래프는 1년 동안의 계절적인 변화를 반영하여 동일한 패턴을 보인다. Fig. 7의 제일 상단 왼쪽 반사율 그래프는 MODIS영상의 토지 피복 중 식생과 관련된 활엽수, 침엽수, 논, 골프장(초지)이 보여주는 1년간의 근적외선 반사율 패턴을 그린 그래프이며, 오른쪽은 비식생 토지 피복으로 도시, 나대지, 물의 근적외선 반사율 그래프이다. 중간은 적색광에서 보이는 반사율 시계열 그래프며, 하단은 위의 근적외선 및 적색광 반사율을 이용하여 계산한 NDVI의 시계열 그래프를 보여준다. 공간해상도 약 230m에 해당하는 근적외선 영역과 적색광 영역의 반사율에 대해서 다음과 같은 특성을 지니고 있는 것으로 해석된다. 각 토지 피복에 대한 근적외선 영역의 반사율이 적색광 영역의 반사율보다 토지 피복간 특성을 잘 나타내 주는 것으로 해석된다. 즉, 식생의 경우 근적외선에서의 반사율이 적색광에서의 반사율보다 토지 피복간 뚜렷한 차이를 보인다. 특히 활엽수와 침엽수의 근적외선 영역에서의 차이는 우리나라에서 활엽수의 생육이 왕성한 봄부터 가을까지 활엽수의 근적외선 영역의 반사율이 높게 나타나는 특성을 보임으로 침/활엽수의 구분이 가능할 수 있다는 것을 알 수 있다. 논은 경우는 5월에서 7월까지 근적외선 영역의 반사율이 다른 식생 토지 피복에 비해 현저히 작은 현상으로 근적외선 반사율의 최고치(peak) 지점이 활엽수의 경우 5-6월인 반면 논은 9월경이 되는 것을 관찰할 수 있다. 비식생 토지 피복의 경우는 근적외선 반사율에서 피복간 차이를 볼 수 있고, 나대지, 도시, 물의 순으로 반사율이 작아짐을 알 수 있다. NDVI 시계열 그래프의 경우도 식생의 계절적인 변화를 볼 수 있으나, 근적외선과 적색광 영역에서의 반사율을 이용하는 식생 지수의 경우 근적외선 영역의 반사율만큼 민감한 차이를 보이지는 않는다고 할 수 있다. NDVI의 수치는 식생 관련 피복의 경우 활엽수, 침엽수, 골프장(초지) 그리고 논 순으로 성장기에 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 비식생 토지 피복의 경우에도 계절적으로 성장기에 식생 토지 피복만큼은 아니지만, 반사율의 변화되는 패턴이 존재한다는 것을 볼 수 있는데, 이것은 MODIS의 중해상도급, 약 230m에 해당하는 공간해상도의 영향으로 해

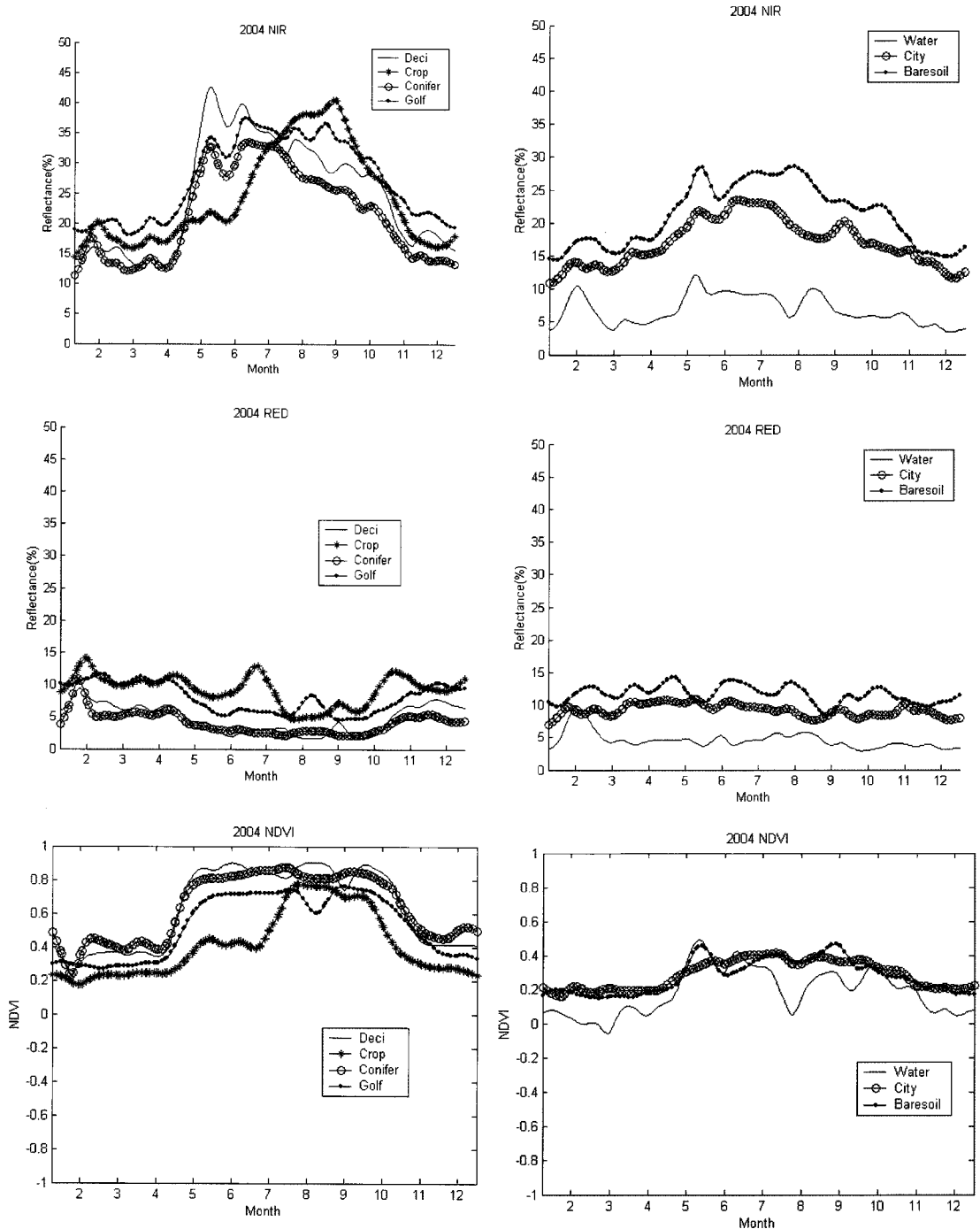


Fig. 7. Reflectance pattern of each landuse in 2004: NIR band (top), red band (middle) and NDVI (Bottom).

석 될 수 있다.

Fig. 8은 2006년의 반사율 그래프로서 2004, 2006년 두 시기의 ASTER영상에서 변함없는 동일한 지표면으로 전체적으로 2004년의 반사율 패턴과 유사한 패턴

을 보이고 있다. Fig. 8의 구성은 Fig. 7의 구성과 마찬가지로 각 토지 피복에 대한 근적외선(상), 적색광(중), NDVI(하)로 구성되며, 왼쪽은 식생 토지피복, 오른쪽은 비식생 토지피복에 대한 그래프이다. 2006년에는 침

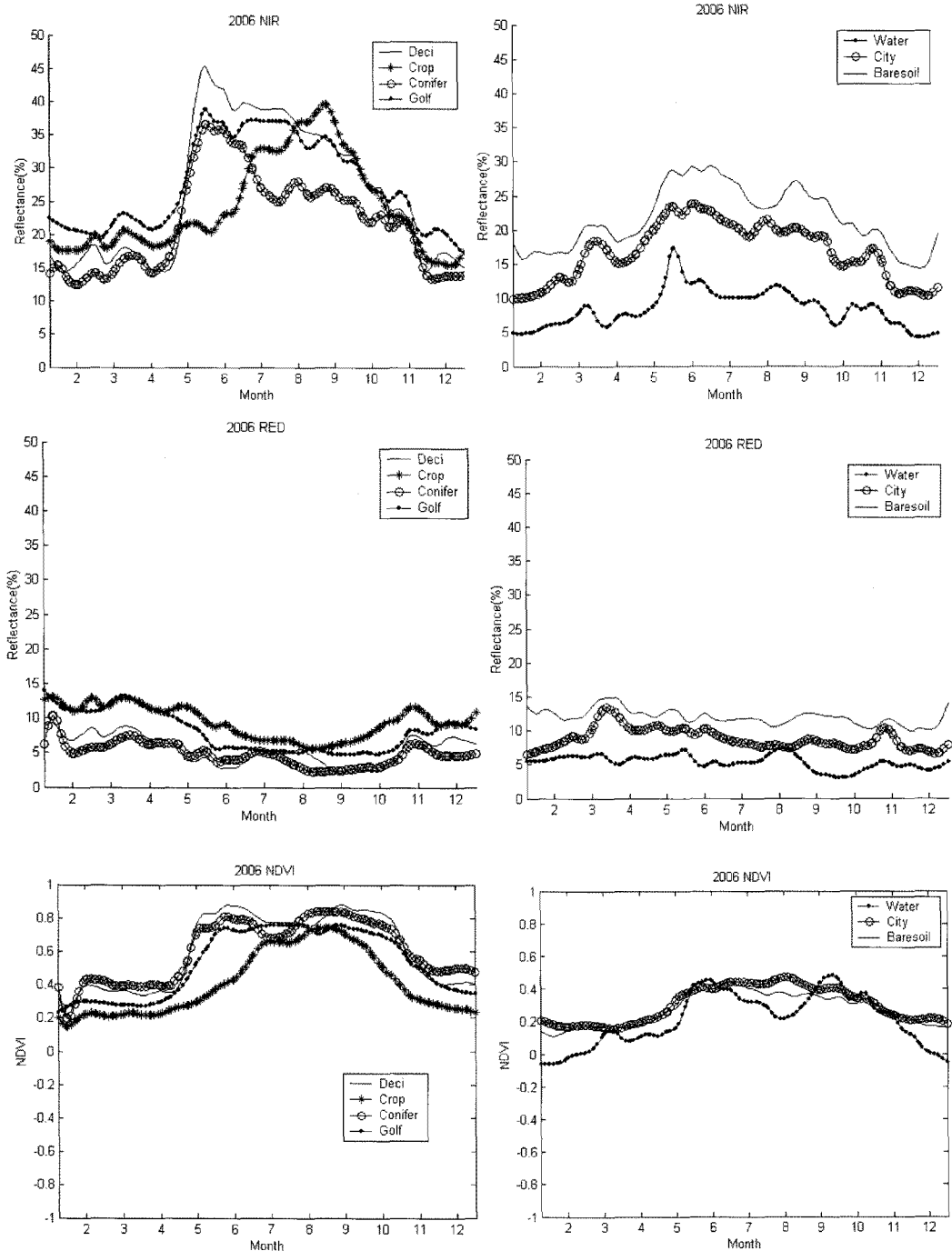


Fig. 8. Reflectance pattern of each landuse in 2006: NIR band (top), red band (middle) and NDVI (Bottom).

/활엽수의 근적외선 반사율에서 나타나는 차이가 2004년보다는 훨씬 큰 폭으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 이처럼 동일한 토지 피복에 대해서도 2004년과 2006년의 토지 피복 반사율의 수치상의 차이가 존재하기는 하지

만 토지 피복간 계절적인 차이에 따라 나타나는 전체적인 반사율의 패턴은 같은 피복에 대해 동일하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 반사율의 값에 갑작스런 변화가 있는 값들을 제거하였음에도 불구하고, 그래프에서 두

드러지게 반사율의 변화가 생기는 부분이 존재하는 것을 볼 수 있고, 이러한 영향은 구름의 영향이 많은 시기이거나, 겨울철의 강설에 의한 영향으로 해석 된다. 눈에 의한 영향은 Fig. 8의 비식생 토지 피복의 근적외선과 적색광(오른쪽 상, 중)의 12월경에 반사율이 높게 나타나는 것으로 확인된다.

한 지역에 대해서 반사율의 패턴이 거의 지속적으로 변함없이 나타나는 경우는 변화가 일어나지 않는 지역으로 판단 할 수 있다. 그러나 토지 피복에 변화가 발생한 경우 즉, 산림이 제거되어 도시화가 이루어지거나, 산불과 같은 자연 재해에 의하여 산림이 훼손되는 경우, 논으로 사용되던 토지가 경작이 되지 않는 경우 등은 기존의 해당 화소가 보이는 반사율의 일반적인 특성과 다른 패턴을 보이게 된다. Fig. 9는 2005년 강원도 양양의 대형 산불이 발생했던 지역에서 선정한 화소의 2004년과 2005년의 반사율 패턴을 보여준다. 2004년에 식생 피복처럼 높게 나타났던 반사율은 2005년의 여름 생장기에 근적외선의 반사율이 급격하게 줄어든 현상을 관찰 할 수 있다. 이렇게 토지 피복의 변화가 발생한 경우에 반사율의 패턴을 살펴봄으로써 토지 피복 변화의 발생을 찾을 수 있는 가능성을 보여준다.

2) 5년간 시계열 그래프: 2004년 ~ 2008년

앞에서는 일년이라는 시간적 범위 안에서 관찰할 수 있는 반사율의 패턴을 살펴 보았다. 반사율 패턴은 MODIS와 같은 자료획득 주기가 높은 중해상도 영상의 경우 여러 해를 거쳐 패턴을 관찰함으로써 공간의 변화

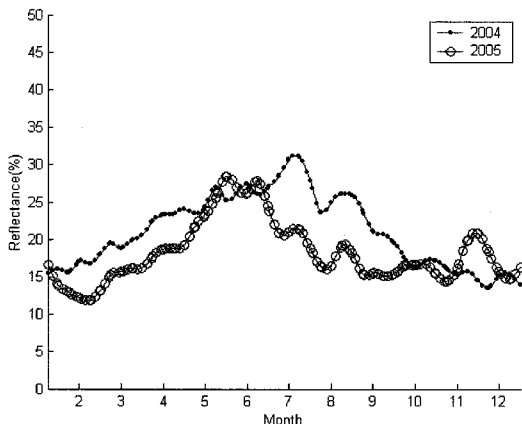


Fig. 9. Reflectance patterns of burned area between 2004 and 2005.

를 더욱 자세히 살펴 볼 수 있다. 비록 그 공간의 토지 피복이 어떤 종류인지 모르더라도, 혹은 공간해상도가 약 230m에 해당하는 토지 피복을 나타내기 때문에, 여러 가지 토지 피복의 혼합된 형태를 가진 화소가 될 지라도, 그 화소가 가지는 고유한 반사율의 패턴은 여러 해를 통해 반복적으로 나타나게 된다. 이러한 반복적 반사율 패턴을 여러 해를 통해 지속적으로 살펴 보면, 토지 피복의 변화 발생시 반사율 패턴의 변화를 탐지할 수 있게 된다. 반대로 반사율 패턴의 변화를 통해 토지 피복의 변화를 탐지 할 수 있다.

Fig. 10은 2004년부터 2008년까지 5년간에 걸친 활엽수와 논이 토지 피복의 근적외선과 적색광 영역의 반사율 패턴을 보여준다. 식생의 계절적 반사율 변화 패턴은 해마다 식생의 생장이 왕성한 시기에 따라 주기적으로 반복되는 것을 볼 수 있다. 해마다 반복되는 주기성은 Fig. 6과 7의 1년간의 시계열 그래프에서 관찰되는 바와 같이 근적외선 영역의 반사율에서 뚜렷하게 관찰된다. 논이 반사율 패턴은 1년간의 반사율 패턴에서 언급하였듯이 산림에서 나타나는 근적외선 반사율의 최고치 시점이 늦어져서 9월경에 최고치를 보이는 것을 볼 수 있다. 5년간에 나타나는 반사율의 수치는 조금씩 다를 수 있지만, 1년간에 나타나는 패턴은 동일하게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 이는 5년 동안 토지 피복에 대한 변화가 나타나지 않고 있음을 알 수 있다. Fig. 11에서는 2004년~2008년의 5년간의 도시에 대한 반사율 특성과 함께 활엽수, 도시, 논이 NDVI 패턴을 보여준다. 도시 역시 앞서 살펴본 바와 같이 1년 안에 보여주는 패턴의 반복을 보여주며, NDVI 패턴도 1년간의 변화 패턴을 반복적으로 반영하고 있는 것을 볼 수 있다. 여름의 식생 생장기에 NDVI의 패턴이 함몰하는 것은 여름 시기에 발생하는 구름의 영향에 의한 것으로 설명된다.

앞서서 토지 피복의 변화가 발생된 지역은 1년간의 반사율 패턴에서 반사율의 변화가 나타나는 것을 살펴본 반면, 여기서는 5년간의 반사율 패턴을 통해 변화된 지역에서 나타나는 반사율 패턴을 변화를 살펴보았다. Fig. 12는 Fig. 4의 ASTER영상에서 성남시 판교동의 대규모 택지개발 사업에 의해 2004년과 2006년의 영상에서 가장 눈에 띄게 변화된 지역으로 MODIS 영상의 두 곳에서 나타나는 반사율 패턴을 그린 그래프이다. 이 그래프에서 2004년 2005년에는 식생의 특성을 나타내

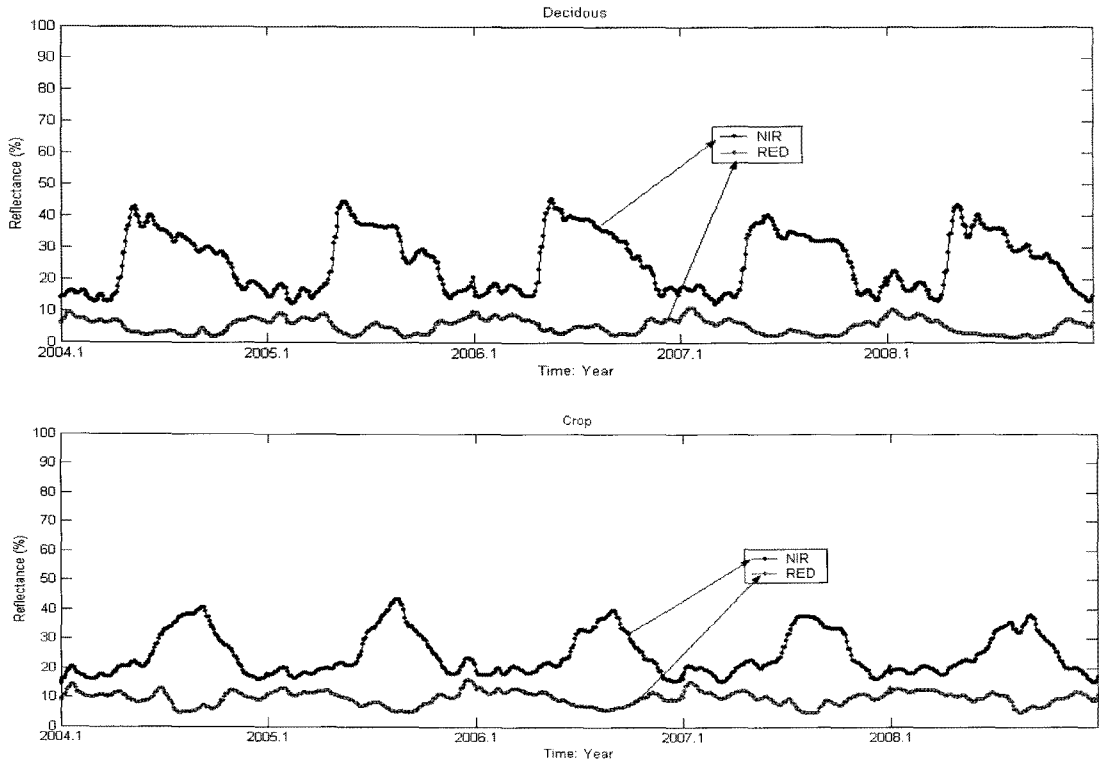


Fig. 10. Reflectance pattern from 2004 to 2008: deciduous (top) and paddy (bottom).

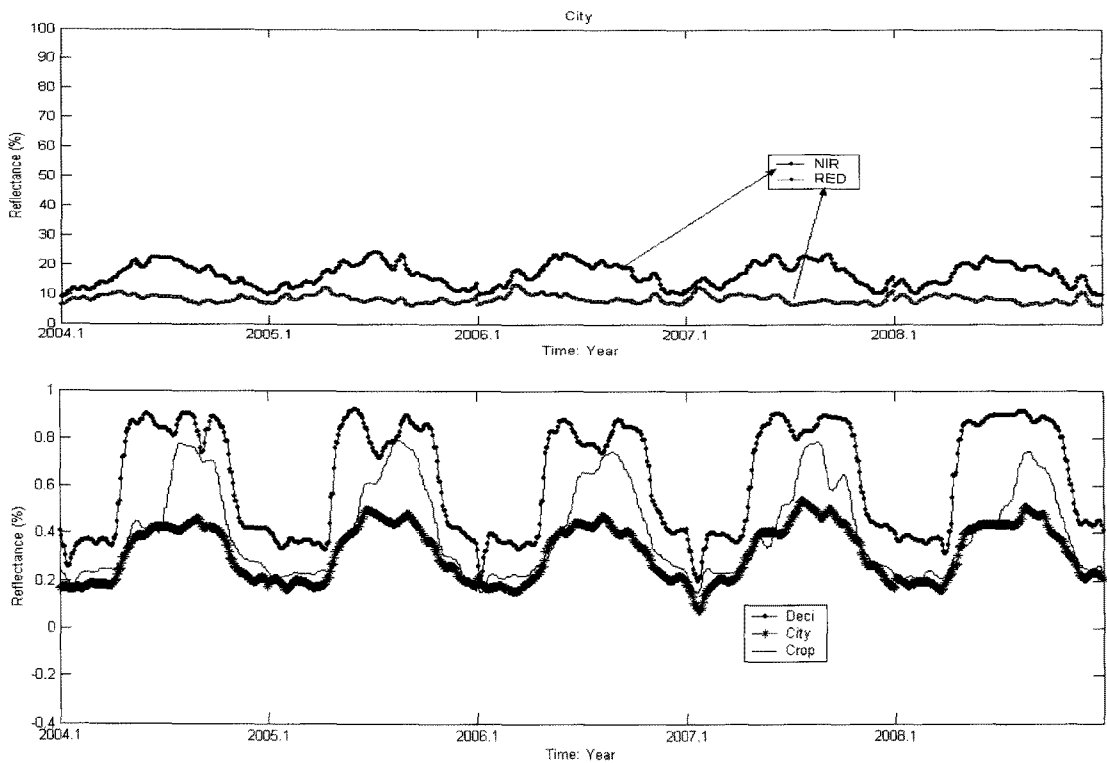


Fig. 11. Reflectance pattern of urban class (top) and NDVI pattern of deciduous, paddy and urban (bottom) from 2004 to 2008.

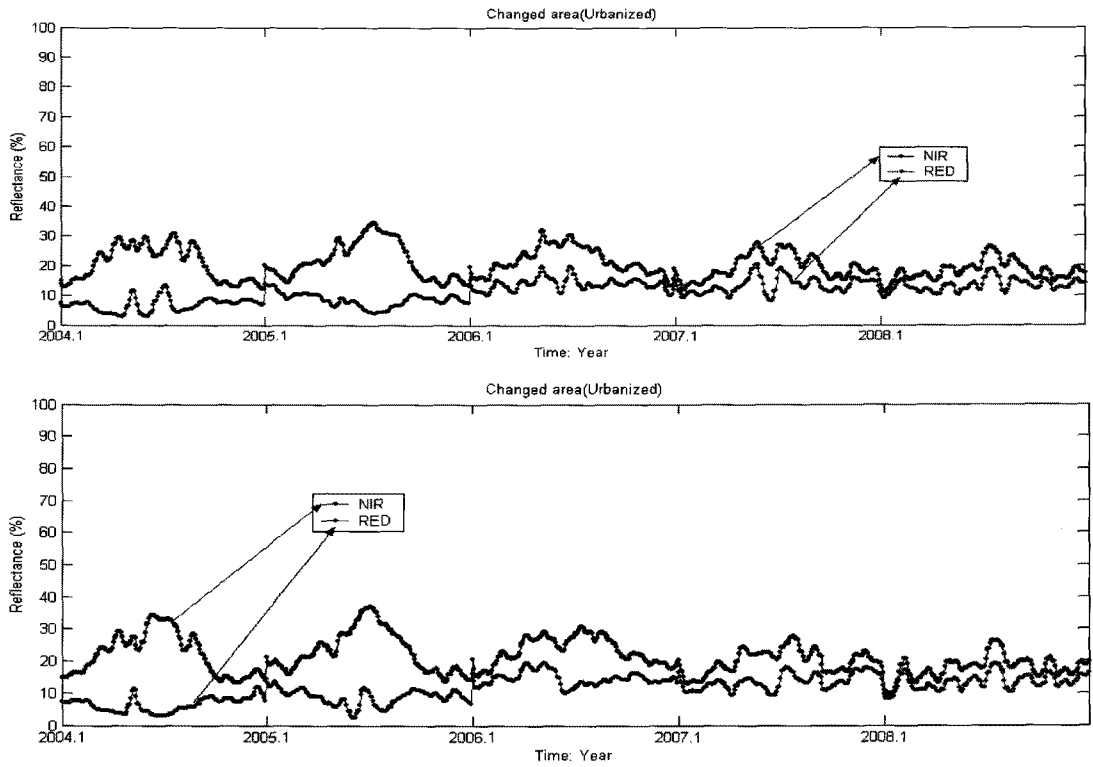


Fig. 12. Reflectance patterns of two urbanized areas (top and bottom), Pankyo-dong, Sung-Nam city, from 2004 to 2008.

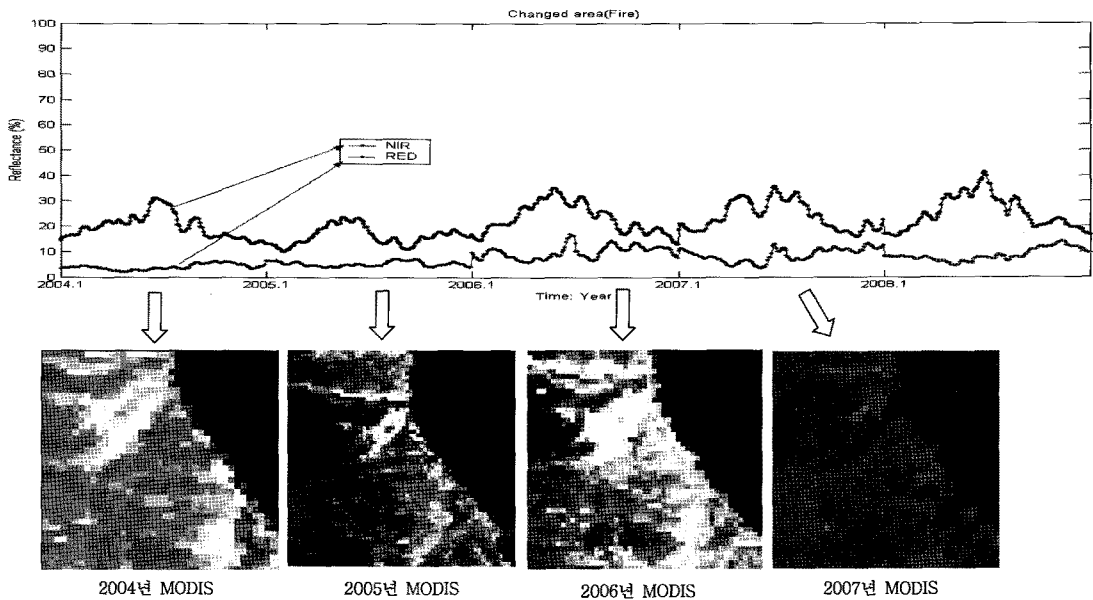


Fig. 13. The reflectance pattern of the burned area in Yang-yang, Kangwon in 2005.

다가 2006년부터 2008년까지의 반사율 패턴은 근적외선과 적색광 영역의 반사율의 수치의 차이가 적어지면서 나대지(bare soil)이나 도시에 가까운 반사율 패턴으로 변화되는 것을 볼 수 있다. 이런 경우는 1년간의 반사율의 패턴을 살펴 볼 때와는 달리 오랜 시간이 지남에 따라 나타나는 변화의 특성을 찾아 볼 수 있으며, 변화된 상태가 지속되고 있는 것을 알 수 있다.

또 하나의 토지 피복의 변화 예로써 산불에 의한 토지 피복의 변화를 살펴 보았다. 2004년에서 2008년 사이에 해당하는 2005년도 4월 5일의 봄철 건조기에 발생되었던 양양의 대형 산불에 의한 피해로 토지 피복의 변화가 발생되었던 사례를 들 수 있다. Fig. 13은 양양 지역에서 보여주는 반사율 패턴의 특성과 함께 MODIS 영상에서 시각적으로 찾아볼 수 있는 이 지역의 변화 특성을 보여준다. 반사율 패턴의 그래프에서 2004년에는 식생의 토지 피복 반사율의 특성을 보이다 2005년도에는 근적외선 영역의 반사율이 감소되었다가 이후 다시 반사율이 높아지는 현상을 볼 수 있다. 이러한 반사율 패턴은 Fig. 13의 반사율 그래프 아래의 MODIS 영상에서 찾아 볼 수 있다. MODIS 영상은 근적외선 영상으로 산불 지역에서 2005년도에는 식생의 특성을 보이지 않다가 2006년, 2007년의 영상에서는 식생이 다시 회복되는 현상을 보여준다. Fig. 12의 도시지역으로 변화된 경우는 도시지역으로의 변화된 피복 상태가 지속되고 있는 경우와는 달리 Fig. 13의 경우는 식생이 다시 복원되는 현상을 통해 변화 지역 간의 차이를 볼 수 있다. Fig. 12와 13을 통해서 변화된 지역의 반사율의 패턴은 적색광 영역의 반사율 보다는 근적외선 영역에서 토지 피복 변화에 민감하게 나타나고 있는 것을 볼 수 있다.

5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 국토를 지속적으로 모니터링하기 위하여 중해상도의 위성영상에 해당되는 MODIS 영상의 높은 주기성을 바탕으로 토지 피복에 따른 반사율의 패턴을 살펴 보았다. 1년간에 나타나는 토지 피복의 반사율의 주기성과 2004년에서 2008년까지 5년간의 시계열 영상자료에 나타나는 반사율의 패턴을 모니터링 함으로써 탐지할 수 있는 토지피복의 변화분석의 가능성

에 대해 살펴 보았다. 연구 자료로 사용한 MODIS 8-day 반사율 자료는 대기의 효과와 함께 구름 제거 과정을 거쳐 보정된 지표면의 반사율로서 알려져 있다. 그러나 연구 과정을 통해 동일한 화소의 반사율의 변이가 상당히 많이 존재하고 있음을 알 수 있으며, 이러한 사실은 국지적 범위에서 완전한 대기 효과의 제거나 구름의 완벽한 제거가 이루어지고 있지 않음을 알 수 있다. 이러한 사실은 MODIS의 자료들을 제작하는 알고리즘들은 전세계적인 자료를 대상으로 제작되기 때문에 국지적으로는 그 처리 효과에 대한 정확도에 차이를 보이고 있음을 설명한다. 그러므로 국내에서 사용할 수 있는 보다 신뢰성 있는 영상을 만들어 내기 위한 localization 과정을 통해 MODIS 반사율 영상의 신뢰도를 확보한다면, 보다 신뢰성 있는 반사율 변화 패턴을 찾을 수 있을 것으로 생각된다. 뿐만 아니라, 구름의 영향 등으로 반사율의 변화가 심하게 생기는 등의 원인을 찾아 구름의 완전한 제거 등을 통해 신뢰성 있는 반사율을 복원시킬 필요가 있다. 반사율의 패턴은 250m급 영상에서 살펴 보았으므로 근적외선과 적색광 영역의 반사율과 이 두 영상의 반사율을 바탕으로 계산된 NDVI의 패턴을 살펴 보았다. 근적외선의 반사율이 계절과 토지 피복 별 차이에 대해 민감하게 반응 하는 것을 알 수 있었으며, 변화가 발생한 토지 피복의 경우는 5년간의 반사율 그래프에서 변화의 지속성과 관련된 패턴을 찾아 볼 수 있었다.

한반도라는 대규모의 공간을 고려할 때, 홍수, 산불 등의 자연 재해의 영향 및 대규모 도시개발을 포함한 토지피복의 변화는 국토의 극히 일부분에서 빈번하게 발생하게 된다. 주로 변화된 공간에 대해서 이루어지는 공간자료의 갱신에 있어서 효율적이고 경제적인 방법에 대한 접근 방법으로써 중,저 해상도의 공간 자료와 고해상도의 자료를 적절히 사용함으로써 보다 효과적인 국토 모니터링의 방법을 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 이 연구는 MODIS 영상을 기반으로 한 반사율 패턴의 모니터링을 통해 변화지역을 탐지할 수 있는 가능성을 제시한다. 또한 토지 피복에서 일어난 변화된 지역을 탐지해내는 것 이외에 향후 각 토지 피복이 나타내는 고유한 반사율 패턴을 통해 250m급 토지피복도의 제작이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C0)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 염종민, 한경수, 이창석, 박윤영, 김영섭, 2008. SPOT/VEGETATION NDVI 자료를 이용한 북한지역 식생 변화 탐지, 한국지리정보학회지, 11(2): 28-37.
- Coppin, P., I. Jonckheere, K. Nackaerts, and B. Muys, 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review, *Int. J. Remote Sensing*, 25(9): 1565-1596.
- Han, K-S., J-L. Champeaux, and J-L. Roujean, 2004. A land cover classification product over France at 1km resolution using SPOT4/VEGETATION data, *Remote Sensing of Environment*, 92: 55-66.
- Liang, S., H. Fang, M. Chen, C. J. Shuey, C. Walthall, C. Daughtry, J. Morisette, C. Schaaf, and A. Strahler, 2002. Validating MODIS land surface reflectance and albedo products: methods and preliminary results, *Remote Sensing of Environment*, 83: 149-162.
- Miura, T., H. Yoshioka, K. Fujiwara, and H. Yamamoto, 2008. Inter-Comparison of ASTER and MODIS Surface Reflectance and Vegetation Index Products for Synergistic Applications to Natural Resource Monitoring, *Sensors*, 8: 2480-2499.
- Vermote E. F. and A. Vermeulen, 1999. Atmospheric Correction Algorithm: Spectral Reflectances (MOD09). MODIS Algorithm Technical Background Document.
- Zhang, X. Y., M. A. Friedl, C. B. Schaaf, A. H. Strahler, J. C. F. Hodges, and F. Gao, 2003. Monitoring Vegetation phenology using MODIS, *Remote sensing of Environment*, 84: 471-475.
- Zhang, Q., X. Xiao, B. Braswell, E. Linder, S. Ollinger, M-L. Smith, J. P. Jenkins, F. Baret, A. D. Richardson, B. Moore III, and R. Minocha, 2006. Characterization of seasonal variation of forest canopy in a temperate deciduous broadleaf forest, using daily MODIS data, *Remote Sensing of Environment*, 105: 189-203.
- http://mod09val.ltdri.org/cgi-bin/mod09_c005_public_allsites_onecollection.cgi