

장기간 SPOT/VEGETATION 정규화 식생지수를 이용한 지면 변화 탐지 개선에 관한 연구

염종민¹ · 한경수^{2*} · 김인환²

The Study of Land Surface Change Detection Using Long-Term SPOT/VEGETATION

Jong-Min YEOM¹ · Kyung-Soo HAN^{2*} · In-Hwan KIM²

요 약

지표면의 환경변화를 관측하는 것은 토지사용과 기후변화, 기상연구, 농업, 지표면의 에너지 균형 및 환경시스템에 매우 중요한 연구로 이용되어지고 있다. 최근 위성영상을 이용한 변화탐지는 국지 단위 환경변화 탐지를 위해 그 필요성이 높아지고 있는 실정이며, 특히 잦은 개발과 변화로 주기적인 탐지가 필요한 도심지역의 변화탐지는 국토환경변화 및 지역계획 연구에 대한 효율적인 의사결정 지원이 가능하므로 그 활용성이 매우 높아지고 있다. 이러한 배경으로, 위성 영상을 이용한 원격탐사 자료를 활용한 분석은 비교적 짧은 시간에 광범위한 지역의 영상 정보를 취득할 수 있기 때문에 국토 환경변화 관리 분야에서의 적용 가능성이 높다. 본 연구에서는 인공위성 자료를 활용하여 변화탐지를 수행할 때 공간정보 추출의 정확성을 높이는 기술 개발을 위해 시계열 자료의 통계적 분석을 통한 변화탐지기법 개발을 수행하였다. 전처리된 자료를 이용하여 정규화 식생지수를 산출하고 K-mean clustering 무감독 분류를 통해 처리된 데이터를 연구영역의 10년간 자료를 이용한 평균 정규화 식생지수 값과 표준편차 값을 계산하여 각각의 화소별 상대적인 변화량을 측정하여 변화 정도를 탐지하였다. 일반적으로 변화 탐지 수행 시, 태양광 채널을 이용할 경우 기하학적 특성에 의해 발생하는 방향성 효과를 보정하여야 한다. 본 연구에서는 대기 보정과 방향성 보정이 수행된 중·저해상도 정규화 식생지수를 이용하여 객관적인 변화 임계치 값을 결정하였다. 연구결과 반사도 값의 차이를 이용한 변화탐지보다 객관적이고 명확하게 변화지역을 탐지할 수 있었다.

주요어 : 변화탐지, 정규화식생지수, K평균군집화, Landsat

2010년 9월 15일 접수 Received on September 15, 2010 / 2010년 10월 27일 수정 Revised on October 27, 2010 / 2010년 11월 7일 심사완료 Accepted on November 7, 2010

1 한국항공우주연구원 위성정보연구소 Satellite Information Research Institute, Korea Aerospace Research Institute

2 부경대학교 위성정보학과 Dept. of Geoinformatic Engineering, Pukyong National University

* 연락저자 E-mail : kyung-soo.han@pknu.ac.kr

ABSTRACT

To monitor the environment of land surface change is considered as an important research field since those parameters are related with land use, climate change, meteorological study, agriculture modulation, surface energy balance, and surface environment system. For the change detection, many different methods have been presented for distributing more detailed information with various tools from ground based measurement to satellite multi-spectral sensor. Recently, using high resolution satellite data is considered the most efficient way to monitor extensive land environmental system especially for higher spatial and temporal resolution. In this study, we use two different spatial resolution satellites; the one is SPOT/VEGETATION with 1 km spatial resolution to detect coarse resolution of the area change and determine objective threshold. The other is Landsat satellite having high resolution to figure out detailed land environmental change. According to their spatial resolution, they show different observation characteristics such as repeat cycle, and the global coverage. By correlating two kinds of satellites, we can detect land surface change from mid resolution to high resolution. The K-mean clustering algorithm is applied to detect changed area with two different temporal images. When using solar spectral band, there are complicate surface reflectance scattering characteristics which make surface change detection difficult. That effect would be leading serious problems when interpreting surface characteristics. For example, in spite of constant their own surface reflectance value, it could be changed according to solar, and sensor relative observation location. To reduce those affects, in this study, long-term Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) with solar spectral channels performed for atmospheric and bi-directional correction from SPOT/VEGETATION data are utilized to offer objective threshold value for detecting land surface change, since that NDVI has less sensitivity for solar geometry than solar channel. The surface change detection based on long-term NDVI shows improved results than when only using Landsat.

KEYWORDS : *Change Detection, NDVI, K-Mean Cluster, Landsat*

서 론

지면 변화 탐지는 기후 변화, 기상 예보 적 중률 향상을 위한 수치모델, 농업 생산 예측 및 관리 모델 그리고 지표 에너지 특성 연구 등과 같은 많은 연구에 주요 변수로 간주되고 있다. 이는 단순히 지면 변화 특성 자체가 지표에 한정되는 것이 아니라, 지표와 대기와의 상호 작용, 입사 태양 특성과 그에 따른 지면

변화에 의한 하층 대기의 복사 강제력 변화 등과 같은 다양한 연구에서 그 역할이 점점 커지고 있는 추세이다 (Jin and Roy, 2005; 염종민 등 2008; 이가람 등 2008; 이창석 등 2008). 지면 변화를 보다 정량적으로 탐지하기 위해서 많은 관측 도구들이 사용되고 있다. 앞에서 언급한 많은 연구들의 공간적 다양성을 고려한다면, 효율과 비용 면에서 많은 장점을 가지고 있는 위성 자료의 활용은 필수적이다. 위성 자료는 그 특성상 넓은 지역을 짧

은 시간에 관측 할 수 있는 장점이 있을 뿐만 아니라, 사용자의 연구에 맞게 분광 특성을 고려 할 수 있는 다양성 또한 가지고 있다. 하지만 위성 자료 활용 시, 복잡한 전처리 과정, 다중 시기 관측에 따른 비등방성 지표면 산란 특성, 그리고 최종 결과물 검증의 어려움등과 같은 많은 단점 또한 보유하고 있다. 특히 본 연구에서 다룰 지면 변화 탐지 연구에서는 위성과 지점 그리고 기하학적인 특성에 따라 발생하는 반사도 오차 특성을 보정하는 것이 중요하다(Roujean *et al.*, 1992; Schaaf *et al.*, 2002; 염종민 등, 2005). 지면 변화 특성이라 함은 말 그대로 다중 시기의 영상 자료를 이용하여 지면의 변화 정도를 파악하고자 하는 것인데, 실제 변화가 없는 지면이라 할지라도 입사하는 태양광의 기하학적인 특성과 이를 관측하는 위성의 상대적인 위치에 의해 그 값이 달라진다. 따라서 이러한 변화 특성을 최소화 하여 실제 지표면에서 발생하는 변화를 파악하는 것이 중요하다(Han *et al.*, 2004; Yeom and Han 2009).

기본적으로 지면 변화 탐지를 위해서 사용되는 방법은 크게 두 가지로 나뉜다. 절대 복사 정규화와 상대 복사 정규화이다. 절대 복사 정규화는 다양한 보조 자료를 이용하여 실제 다중 시기의 지표면 반사도 값을 산출하여 시간에 따른 변화를 파악하는 것이고, 상대 복사 정규화의 경우에는 절대 복사 정규화와 달리 실제 지면 반사도 값을 산출하는 것이 아니라, 기준이 되는 위성 이미지에 다른 시기의 영상 이미지는 선형적으로 보정하여 값의 변화 정도를 산출하는 것이다. 즉, 앞에서 언급은 대기 보정이나, BRDF 효과가 선형적인 특성을 가지고 변화한다는 가설을 가지고 접근하는 방식이다. 절대 복사 보정의 경우에는 실제 지표면 반사 값을 산출하기 위해서는 많은 대기 및 기하학 특성 정보들과 복잡한 계산 과정을 필요로 한다. 대기 보정을 수행하기 위해 대기 중의 총 오존량, 레일리 산란과 에어로솔에 의한 미 산란, 그리고 수증기량과 같은 정보가 필요하고, 방향성 보정

을 위해 태양과 위성의 상대적인 위치 정보를 필요로 한다(Yeom *et al.*, 2008; Yeom and Han 2010). 하지만, 현실적으로 대기 보정과 방향성 보정을 위한 입력 자료 수집에는 많은 어려움이 있을 뿐만 아니라, 특히 변화 탐지 같은 다중 시기의 많은 위성 영상을 활용하는 연구에는 어려움이 따른다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 다양한 상대 복사 정규화 방법이 제시되었다(Hall *et al.*, 1991; Heo and Fitzhugh, 2000; Du *et al.*, 2002). 일반적으로 상대 복사 정규화 같은 경우에는 기준 영상에 타 영상 값을 선형적으로 보정하는 방식을 주로 이용한다. 그 중 가장 많이 적용되는 방식은 다중 시기 영상에 대한 선형 보정 시, 일반적으로 반사도 특성이 변하지 않은 지점(Pseudo-Invariant Features: PIFs)의 화소를 이용하여 보정하는 방식이다(Conel *et al.*, 1990; Coppin and Bauer, 1994; Hall *et al.*, 1991; Schott *et al.*, 1998). 즉, 다중시기의 영상 중에서, 도로, 건물등과 같이 지면 분광특성이 변화하지 않은 지점 화소를 선형적으로 매칭 시키는 방법인데, 이는 선택된 PIFs 지점의 지면 분광 특성 변화는 대기 변화, 방향성에 기인한 것이라는 가설하게 적용하는 방식이다. 따라서 주관적으로 선택된 PIFs의 대응화소를 이용하여 선형회귀를 통한 계수를 산출하고 이를 전체 다중시기 영상에 적용하는 방식이다.

절대 복사 정규화와 상대 복사 정규화는 각각의 장·단점을 가지고 있다. 절대 복사 정규화의 경우에는 상대 복사 정규화와는 달리 실제 지면 반사도 특성을 구할 수 있기 때문에 향후, 지면-대기의 상호작용에 의한 지면 복사 강제력 산출, 알베도 산출 및 지면 관측 요소의 플럭스 산출 등에 필수적으로 사용된다. 하지만 앞에서 언급한 바와 같이 대기 특성을 모의 할 수 있는 관측 값이 필요한데 실제 다중 시기의 위성의 넓은 관측 시야를 대표 할 수 있는 관측 자료를 얻기 힘들 뿐만 아니라, 자료 수집에 소요되는 비용면에서도 어려움이 있다. 또한 준 실시간 자료를 요구

하는 예보 시스템이나 장기간 자료를 사용하는 기후 관련 분야에 대한 연구 수행 시, 방대한 자료 처리 및 계산의 어려움 또한 가지고 있다(Yuan and Elvidge, 1996; Canty and Nielsen, 2008). 반면, 상대 복사 정규화의 경우에는 절대 복사 정규화와 달리, 실제 대기 정보를 필요로 하지 않는다는 장점이 있으나, PIFs 지역 선정에 대해서는 연구자의 주관적인 의견이 반영되며, 또한 절대 복사 정규화와는 달리 실제 지면 반사도를 산출할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이전의 방식과 다르게 지면 변화 탐지를 수행하기 위해서 관측특성이 서로 다른 두 위성 자료를 이용하여 변화 탐지를 수행하고자 한다. 기본적으로 변화 탐지를 수행하고자 하는 위성 자료에 대해서, 이전에 많이 사용되었던 분류 후 차 연산 방식을 수행하였다. 위성 자료를 이용하여 지면 변화 패턴을 탐지하기 위해서는 탐지할 변화의 정도에 따라 임계치를 설정해야 하는데 이러한 임계치는 연구자의 주관에 많이 반영되는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 공간 해상도가 높은 위성자료를 통한 지면 변화 탐지 임계값 설정에 대한 기준을 마련하기 위해 공간 해상력이 낮은 위성 자료를 이용하였다. 공간 해상력이 낮은 위성 자료의 경우에는 고 해상도 위성과 달리 관측 시간 해상도가 높기 때문에 실제 BRDF(Bidirectional Reflectance Distribution function) 모델에서 필요한 다양한 각도 정보를 포함할 뿐만 아니라, 특정 기간 동안 연속적으로 관측된 자료를 통한 대기 보정수행이 가능하다. 따라서 앞에서 언급한 저해상도 위성의 경우 대기 보정과 방향성 보정이 수행된 자료이기 때문에 지면 변화 탐지 임계치 설정을 위한 기준자료로서 적절할 것으로 예상된다.

자료와 영상 전처리

본 연구에서 사용된 위성영상 자료는 크게 두 종류의 공간 해상도 자료로 나뉜다. 광

역 단위 변화 탐지를 위한 중해상도 위성과 지역 단위 변화 탐지를 위한 고해상도 위성으로 구분하였다. 광역 단위 영상의 경우에는 SPOT/VEGETATION 1km×1km 태양광 채널 해상도를 사용하였고, 지역 단위의 분석에는 해상도 30m×30m 공간 해상도를 가지는 Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) 영상을 사용하였다. 지역 단위 연구대상지역은 부산시, 진해시, 김해시 등을 포함한 50km×40km 지역이며 공간 면적은 약 2000km²이다. 연구지역의 경위좌표는 약 동경 128도 47분에서 약 동경 128도 21분, 약 북위 35도 20분에서 약 북위 34도 59분이다. 연구지역은 부산, 김해지역(그림 1)과 같다. 본 연구에서는 연구 지역에 대해 다중 시기의 영상을 이용하여 변화 탐지를 수행하였다. 첫 번째 Landsat영상의 114/36(row/path) 지역이 한반도 부산광역시 부분을 포함한다. 광역단위의 환경변화 탐지를 위하여 연구 영역에 맞게 영상을 추출하였으며, 시간적 범위는 2000년 11월 09일과 2002년 10월 30일 자료로 동일 시기의 다른 연도 영상을 비교하였다.



FIGURE 1. The study area from Landsat ETM+ RGB image over Busan province acquired in 9 November, 2000

본 연구에서는 광역 단위 위성의 경우 SPOT/VEGETATION 자료를 이용하였다(그림 2). 전체 영상에서 지역 단위 영상과

일치하는 지역을 선택하여 장기간 배경자료를 산출하는 사용하였다. SPOT/VEGETATION 자료는 태양광 채널을 보유한 지구관측 위성으로 하루 한번 전 지구의 대부분을 관측한다. 본 연구에서는 1999년부터 2008년까지 총 10 년의 자료를 이용하여 지면 변화 탐지를 위한 배경 자료를 산출하였다.

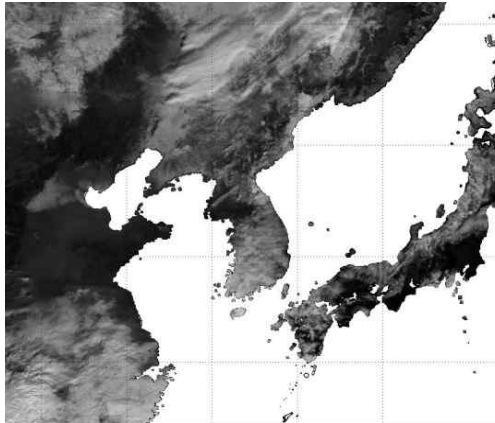


FIGURE 2. The corresponding SPOT/VEGETATION image over South-North Asia area acquired in 10 November, 2002

기본적으로 국토 환경 변화 탐지란 실제적으로 발생하는 지표의 물리적 특성 변화 정도를 파악하는 것이다. 따라서 보다 정확한 변화탐지를 위해서는 지면 변화 탐지에 영향을 줄 수 있는 다양한 변수에 대한 고려가 필요하다. 가장 큰 영향을 미치는 요소로는 시·공간적인 특성이 있으며, 그 예로 대기 환경 변화, 관측 특성 변화 및 계절 변화에 따른 식생 특성 변화 등이 있다. 따라서 실제적인 지면 변화 특성을 파악하기 위해서는 이러한 변수들에 대한 고려가 필요하다. 하지만 현실적으로 이러한 특성을 모두 고려하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 기본적으로 대기 보정과 지리 보정 수행 후, 관측 특성이 유사하고 동일한 계절적 특성을 가지는 영상을 활용하였다. 동일한 계절적 특성을 가지는 영상

을 활용한 이유는 바로 시간에 대해 민감도가 높은 지면 식생 때문이다. 일반적으로 토양이나, 인공 구조물 같은 경우에는 계절에 따른 그 변화도가 매우 낮기 때문에 계절적 변동성을 고려할 필요는 없다. 하지만 대도시를 제외한 한반도의 대부분의 지역은 식생 지역이 있으며, 또한 본 연구에서 주로 파악하고자 하는 연구 지역이 도심과 식생의 경계 지역이기 때문에 식생 변동성을 고려할 수밖에 없다. 일반적으로 식생 지역은 다양한 요소에 의해 영향을 받지만 가장 큰 요소는 계절이다. 따라서 본 연구에서는 같은 계절적 특성을 가지는 다중 시기 영상을 사용하였다.

지면 변화 탐지 방법

지면 변화 탐지 특성을 파악하기 위해서는 실제 위성에서 제공한 밴드별 특성을 최대한 활용하여 그 변화 특성을 파악하는 것이 주요 방법이다. 위성 자료를 활용하는 방법에는 크게 각 채널의 자체 분광 밴드 값을 이용하여 변화 탐지를 수행하는 방법과 탐지하고자 하는 물리적 대상에서 나타나는 상대적인 분광 차를 이용하여 산출된 결과물을 활용하는 것으로 나눌 수 있다. 위성에서 관측된 각 분광 밴드자료를 이용하여 변화 탐지를 수행하는 방식은 채널 자체가 가지고 있는 정보가 많기 때문에 보다 구체적인 분류가 가능하지만, 실제적으로 정보가 많은 만큼 노이즈 또한 많이 내포하고 있다. 특히 태양광 채널의 경우에는 태양과 지점, 위성과의 상대적인 위치 차에 의해 발생하는 방향성 효과(BRD effects)에 대한 보정이 필요하며, 또한 사용되는 각 채널별 분광 특성에 따른 대기 보정이 필수적으로 수행되어야 한다. Landsat 위성 자료를 이용하여 대기 보정을 수행하는 경우에는 지상 관측 자료 값을 이용하거나, 위성 영상 내에 존재하는 어두운 지역 또는 매우 밝은 지역의 값을 이용하여 상대적인 처리를 할 수 있지만, 전자의 경우 복잡한 물리 모델을 적용해야 하는 어려움이 있고, 후자의 경우에는 전체이미지에 적용 가능한 대표성의

부재가 있다. 따라서 본 연구에서는 중저해상도 위성의 높은 시간 해상도를 통한 대기 보정 및 방향성 보정이 수행된 정규화 식생지수를 이용하여 변화 탐지를 수행하고자 한다. 정규화 식생지수 (Normalized Distribution Vegetation Index: NDVI)는 적외 영역의 채널과 근적외 영역 채널에서 발생하는 분광 차를 이용하여 지면에 존재하고 있는 식생 특성을 파악하고자 개발된 지수이다. 본 연구에서 사용되는 정규화 식생지수 식은 아래와 같다.

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

NIR: Near Infra-red channel

Red: Red channel

본 연구에서는 정규화 식생지수를 입력 자료로 활용하여 비슷한 공간적인 지면 정보 특성으로 재구성하는 K-평균군집화를 이용하였다. K-평균군집화는 data mining의 군집화 작업에 주로 사용되는 기법으로 N개의 속성으로 구성되는 각각의 레코드를 벡터로 표시하여 N차원의 데이터 공간에 나타낼 때, 유사한 특성을 갖는 레코드들은 서로 근접하여 위치한다는 가정에 근거하여 지면 특성을 재분배한다. 이렇게 K-평균 군집화를 이용하여 각각 재분배된 시간별 분류자료를 이용하여 실제 변화 정보를 파악하였다. 본 연구에서는 NDVI 자료를 통해 산출된 분류 값에 대한 이미지 차 연산 방법을 활용하였다. 반사도 값을 이용한 이미지 차 연산을 이용할 경우 다양한 문제에 봉착하게 된다. 반사도 값만을 이용할 경우 태양, 위성각의 변화에 따른 이방성으로 인해 같은 지점 같은 시각에도 상이한 값이 관측될 가능성이 높아 반사도 자체의 차이로 변화를 결정하는 것은 무리가 있다. 중저해상도 영상의 경우 시계열적으로 다량의 자료가 확보 가능하기 때문에 이러한 문제를 해결할 수 있는 조건을 제공한다. 즉, 한 지점에서 일정 기간 동안 다양한 관측각과 태양각

의 영향에 따른 지면 반사 산란 특성을 모니터링 할 수 있어 시계열적으로 발생하는 반사도 이방성 효과 보정 가능하다. 하지만 고해상도의 경우 일정 기간 동안 충분한 시계열 영상의 획득이 어렵기 때문에 현재의 기술로는 이방성 효과의 제거가 불가능하다.

본 연구에서는 각 Landsat 위성 자료를 통해 분류된 다중 시기의 영상을 서로 비교하여 지면 변화 탐지를 수행하였다. 이미지 차 연산 기법을 이용해 보정된 영상의 밝기 값은 일반적으로 정규 분포에 근접한다. 두 시기 사이의 밝기 값이 변화가 없는 화소는 평균 주변에 분포하고, 변화가 있는 화소는 분포의 양쪽 모서리에 위치 한다 (Song *et al.*, 2001). 이미지 차 연산 기법을 이용한 변화 탐지에서 중요한 요소는 변화영상의 히스토그램에서 “변화된 화소”와 “변화되지 않은 화소” 사이의 경계를 나눌 임계값을 결정하는 것이다. 임계값은 보통 미리 알려져 있지 않으며, 경험적으로 결정되어야 한다. 변화량이 현실과 비교하여 적절할 때까지 임계값의 위치를 바꾸어가며 경험적으로 실험하는 방법을 사용한다. 이와 같은 변화량은 주관적이기 때문에, 연구지역에 대한 경험적 지식이 있어야 하지만 본 연구에서는 장시간 중저해상도 위성자료를 통해 구축된 각 시기별 식생지수 값을 이용하여 임계치를 결정하였다.

결 과

그림 5는 서로 다른 시기에 관측된 두 Landsat 영상 (그림 3, 그림 4)을 이용하여 산출된 각각의 정규화 식생지수 (NDVI) 이미지 차연산을 통해 나타낸 결과이다. 적색에 가까울수록 음의 변화 즉, 이전 시기보다 NDVI 값이 낮아졌다는 의미이고 녹색에 가까울수록 양의 변화 즉, NDVI 값이 이전보다 높아졌다는 의미이다. 양의 변화로 갈수록 식생이 건강해졌거나 혹은 식생의 양이 늘어났다는 의미이며 적색으로 갈수록 식생의 상태가 나빠졌거나 개발로 인하여 식생이 사라졌

다는 것을 의미한다. 그림에서 보면 음의 변화 지역이 주로 도심 주변에 나타난 것을 볼 수 있으며, 이는 도시 확장으로 인한 개발에 의한 것으로 볼 수 있다. 변화가 심한 지역의 경우에는 변화 특성이 잘 나타나지만 그외 지역에 대해서는 변화 정도를 파악하지가 쉽지 않다. 따라서 차 연산 수행이후 변화 지역을 구분하기 위한 기준이 필요하다.

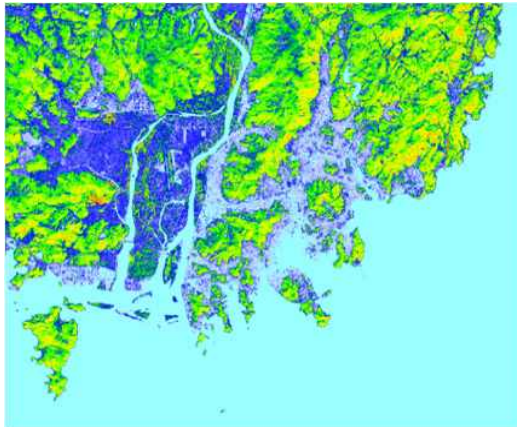


FIGURE 3. The NDVI image using Landsat ETM+ channel acquired in 9 November, 2000

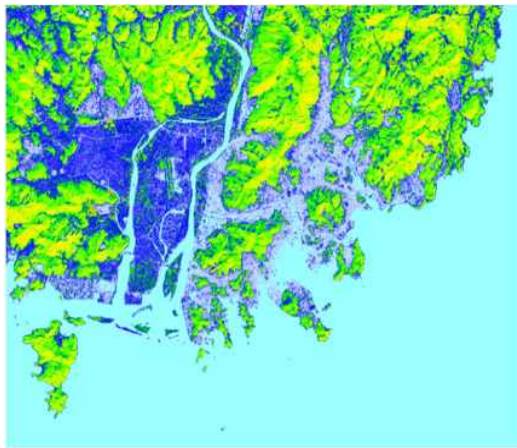


FIGURE 4. The NDVI image using Landsat ETM+ channel acquired in 30 October, 2002



FIGURE 5. The NDVI image difference between 2000 and 2002 Landsat data over the study area. The green color bar means increased NDVI value than previous value, and the red color bar means decreased NDVI value during the comparison periods

그림 6은 NDVI 이미지 차연산을 통해 나타난 영상에 대해서 단순히 음의 변화, 양의 변화, 그리고 무변화 지역을 분류한 영상이다. 그림에서 보는 것과 같이 Landsat 위성의 경우 해상도가 높기 때문에 변화가 일어나는 지역이 너무 세밀하게 나타난 것을 볼 수 있다. 단순히 지역적으로 발생하는 변화 정도를 파악하기 위해서 아래와 같은 정보가 필요할지 모르나, 광역 단위 변화 탐지 연구에서는 오히려 노이즈가 될 수 있다. 여기서 노이즈라 함은 영상을 분류하고자 하는 분석자의 의도에 반하는 분류 지역을 말할 수 있다. 본 연구의 주요 목적은 융합 영상 기반 변화 탐지에 대한 방법론 제시가 주요 목적이기 때문에 변화탐지가 쉬운 광역 단위 변화 주로 목표물로 정하였으며, 이가 아닌 지역에 대해서는 노이즈로 정의 하였다.

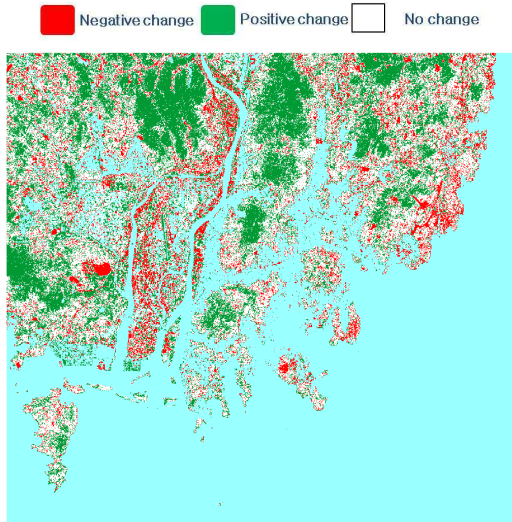


FIGURE 6. Simply classified image from changed and unchanged NDVI over the study area

고해상도 영상에서 나타나는 화소 세밀도를 낮추기 위해서, 30m×30m 윈도우 화소 내의 조건에 만족하는 변화가 60% 이상 존재할 경우를 변화지역으로 분류하는 방법으로 이용하여 그림 7과 같이 나타내었다. 그림 7에서 보는바와 같이 필터링을 실시하였을 경우 변화양상에 대한 육안 확인이 좀 더 명확해 지는 것을 볼 수 있다. 그림 8 (a)에서 그림 8 (c)은 변화탐지의 임계치를 각각 0.05, 0.15, 0.3, 0.5로 설정 하였을 때 결과를 나타낸다. 여기 정한 임계치란 단순히 NDVI 값의 변화량을 말하는 것이다. 위와 같이 임계치의 변화를 다르게 주어 NDVI가 많이 변화한 지역을 탐지하였다. 이런 변화 패턴을 탐지하기 위해서는 탐지할 변화의 정도에 따라 주관적인 임계치를 설정 하여야된다. 임계치를 높게 주게 되면 그림 8 (c)과 같이 경마공원과 신항만 같은 범위가 넓고 큰 변화에 대해서만

탐지가 가능하다. 하지만 이런 변화 양상을 탐지하기 위한 임계값 설정에 대한 기준이 모호하고 객관적 지표가 없는 상황이다.

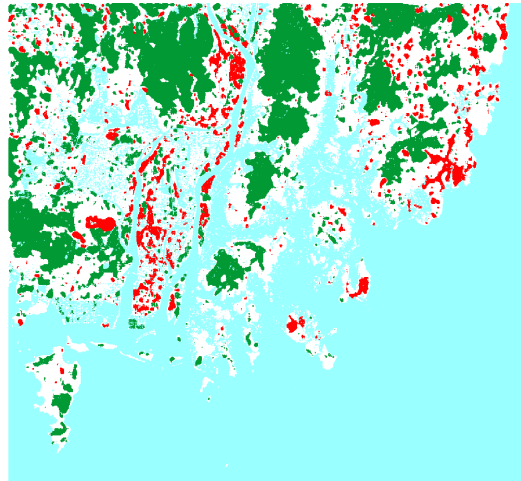


FIGURE 7. The classified image based on more than 60 percentage variation within 30×30 window pixels

본 연구에서는 변화 탐지 임계값 설정에 대한 객관적인 기준을 마련하기 위하여 SPOT/VEGETATION 1km NDVI 의 10-day 기간별 10년 평균과 10년 표준편차 (σ) 값을 이용하였다. NDVI 10-day 기간별 10년 평균 값에 따른 표준편차 통계치를 재정리한 조건표를 마련하고, 이를 이용하여 임계치를 결정하는데 이용하였다. 참고로 임계치 결정을 위한 NDVI 평균과 표준편차 값 적용 시 다른 위성을 사용할 경우에는 값이 틀려 질 수 있다. 이는 같은 파장대의 채널 자료라도 위성마다 반응함수가 틀리고, 무엇보다 특성마다 서로 다른 관측 환경 때문에 차이를 보일 수 있다. 조건표는 표 1과 같다.

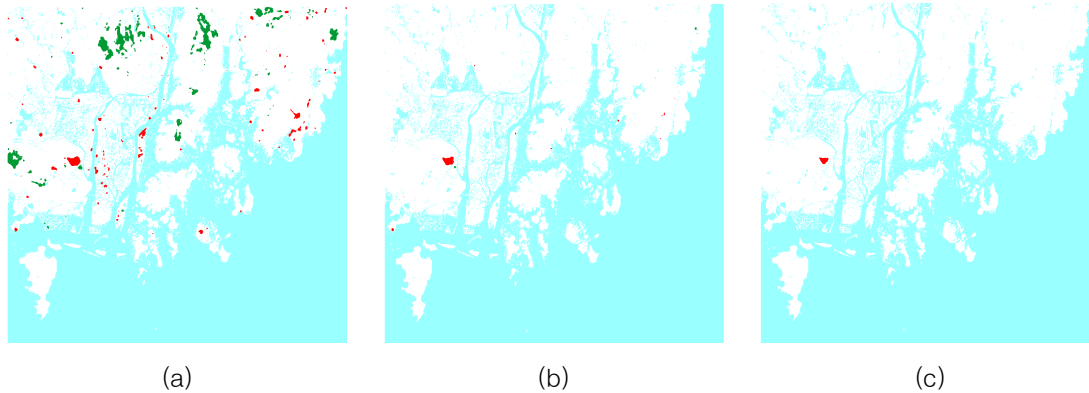


FIGURE 8. The changed area with different threshold values over study areas. The red color means negative changed area: (a) is filtered with 0.15 threshold, (b) is 0.3, and (c) is performed with 0.5

TABLE 1. The monthly standard deviation of LUT (Look-Up-Table) from SPOT/VEGETATION NDVI 10-day data during the 10 years from 1998 to 2008

Temporal representativeness	NDVI value								
	0.0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	0.7-0.8	0.8 <
Jan. 01-10	0.028	0.036	0.045	0.047	0.045	0.044	0.038	0.038	0.035
Jan. 11-20	0.030	0.040	0.047	0.047	0.044	0.043	0.042	0.044	0.037
Jan. 21-31	0.033	0.044	0.050	0.049	0.044	0.043	0.041	0.042	0.044
Feb. 01-10	0.033	0.044	0.049	0.047	0.042	0.042	0.041	0.043	0.050
Feb. 11-20	0.031	0.039	0.046	0.044	0.039	0.042	0.040	0.040	0.042
Feb. 21-29	0.029	0.032	0.039	0.040	0.038	0.041	0.037	0.036	0.034
Mar. 01-10	0.028	0.029	0.033	0.036	0.039	0.043	0.034	0.032	0.038
Mar. 11-20	0.027	0.029	0.032	0.037	0.038	0.042	0.033	0.030	0.031
Mar. 21-31	0.025	0.023	0.030	0.036	0.039	0.040	0.034	0.031	0.037
Apr. 01-10	0.024	0.020	0.031	0.036	0.042	0.039	0.032	0.030	0.034
Apr. 11-20	0.024	0.021	0.027	0.042	0.044	0.046	0.035	0.030	0.032
Apr. 21-30	0.025	0.027	0.030	0.036	0.041	0.043	0.044	0.034	0.036
May. 01-10	0.024	0.032	0.034	0.040	0.043	0.045	0.046	0.042	0.038
May. 11-20	0.023	0.045	0.032	0.040	0.043	0.044	0.043	0.041	0.035
May. 21-31	0.023	0.053	0.034	0.037	0.040	0.041	0.039	0.034	0.027
Jun. 01-10	0.022	0.052	0.050	0.038	0.038	0.039	0.036	0.031	0.023
Jun. 11-20	0.023	0.060	0.062	0.050	0.045	0.041	0.038	0.033	0.026
Jun. 21-30	0.024	0.058	0.063	0.056	0.046	0.045	0.038	0.032	0.026
Jul. 01-10	0.026	0.062	0.069	0.065	0.056	0.047	0.045	0.039	0.032
Jul. 11-20	0.028	0.064	0.071	0.071	0.062	0.053	0.045	0.045	0.037
Jul. 21-31	0.029	0.063	0.072	0.073	0.066	0.055	0.044	0.040	0.037
Aug. 01-10	0.029	0.062	0.072	0.073	0.067	0.056	0.044	0.036	0.034
Aug. 11-20	0.030	0.062	0.070	0.069	0.063	0.053	0.041	0.032	0.030
Aug. 21-30	0.031	0.064	0.069	0.068	0.063	0.053	0.041	0.032	0.029
Sep. 01-10	0.031	0.071	0.077	0.070	0.062	0.051	0.039	0.032	0.026
Sep. 11-20	0.032	0.076	0.077	0.068	0.059	0.046	0.038	0.031	0.025
Sep. 21-31	0.033	0.084	0.077	0.066	0.054	0.042	0.040	0.031	0.027
Oct. 01-10	0.034	0.086	0.072	0.057	0.043	0.039	0.037	0.035	0.029
Oct. 11-20	0.035	0.081	0.061	0.043	0.039	0.040	0.039	0.033	0.031
Oct. 21-30	0.035	0.073	0.045	0.041	0.044	0.044	0.042	0.038	0.033
Nov. 01-10	0.033	0.060	0.034	0.041	0.045	0.042	0.042	0.038	0.036
Nov. 11-20	0.032	0.043	0.035	0.044	0.043	0.041	0.043	0.039	0.038
Nov. 21-31	0.031	0.036	0.043	0.045	0.043	0.042	0.043	0.041	0.042
Dec. 01-10	0.031	0.039	0.042	0.041	0.041	0.042	0.041	0.040	0.042
Dec. 11-20	0.029	0.037	0.040	0.043	0.043	0.042	0.041	0.041	0.043
Dec. 21-30	0.029	0.037	0.043	0.043	0.042	0.042	0.042	0.045	0.040

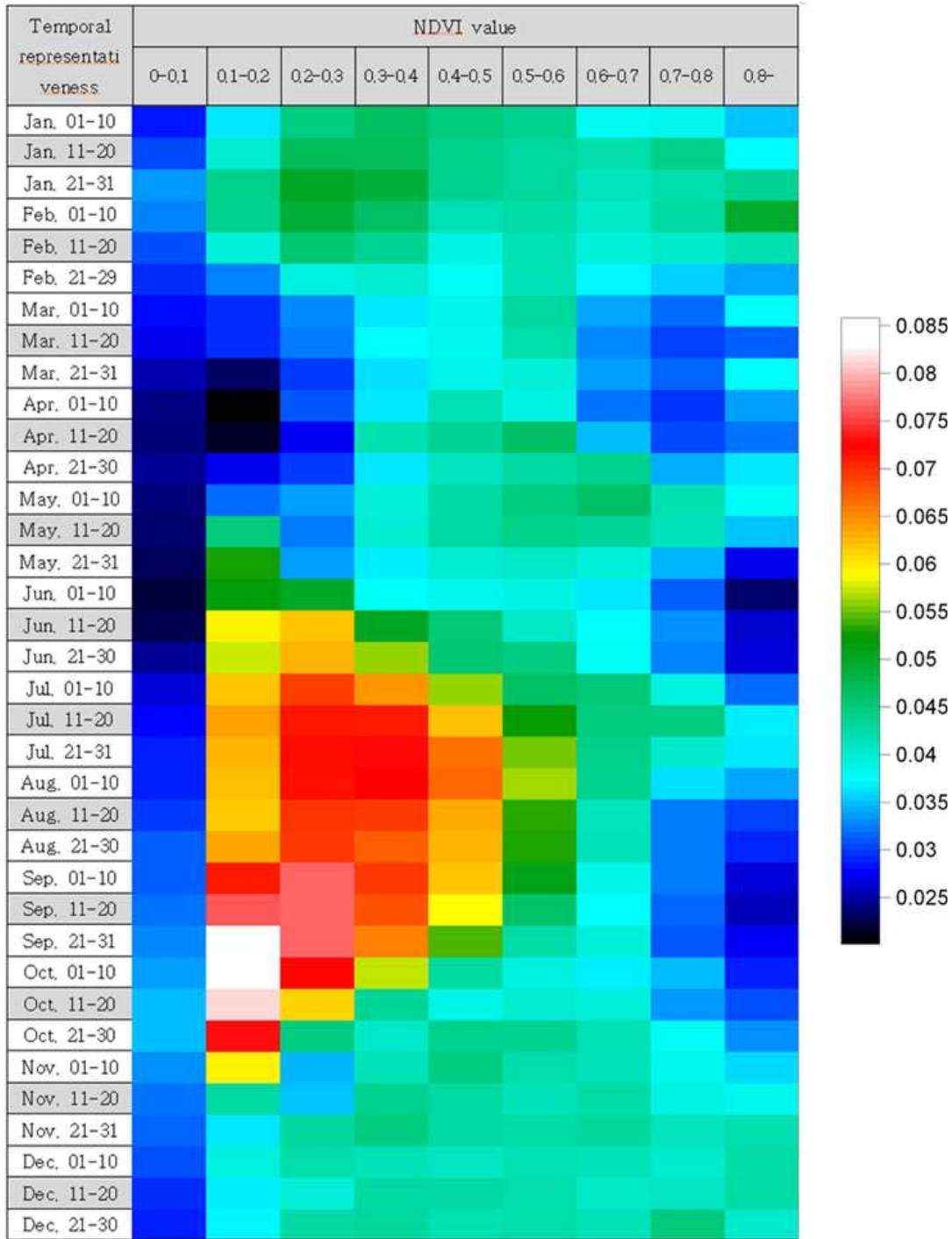


FIGURE 9. The image of NDVI standard deviation with mean value according to month for 10 years from 1998 to 2007

그림 9는 각 화소의 NDVI의 10년 평균에 따른 표준편차 값을 이용하여 이미지로 나타낸 그림이다. 흰색으로 갈수록 표준편차의 값이 양으로 변하는 지역이고 흑색으로 갈수록 표준편차의 값이 음으로 변하는 지역이다. 표준편차는 NDVI 기간별 10년 평균이 낮을 때 7월에서 10월 사이에 가장 높아 NDVI 값의 변동이 심한 것으로 나타났다. 일반적으로 NDVI 값만을 가지고 변화탐지를 수행하는 것보다 신뢰도가 높은 자료를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 그림 10에서 그림 11까지 임계값을 표준편차의 비율로 나타낸 그림이다. 표준편차의 1배, 3배, 그리고 6배 만큼 변화된 지역을 탐지해 보았다. 표준편차로 임계값을 지정하였을 때 임계값의 변화에 따라 연구 영역에서 보여지는 변화지역에 대한 관찰이 좀 더 용이하다는 것을 알 수 있다. 단순히 NDVI 값을 임계값으로 지정하여 변화 양상을 탐지 할 때는 실제 우리가 알고자하는 변화에 대한 탐지가 어려웠으나 표준편차를 이용 할 때는 더욱 용이하게 탐지할 수 있는 것을 알 수 있다. 그림 11에서 보는바와 같이 임계값이 $\sigma * 8.0$ 일 때 영상의 노이즈는 제거되고 환경적인 변화가 크게 일어난 지점을 육안으로 확실하게 식별할 수 있는 것을 볼 수 있다. 실제 그림 11에서 나타난 적색 구역은 부산신항만과 부산경남경마공원 공사가 진행되는 구

역으로 정확하게 탐지해 낸 것을 알 수 있다.

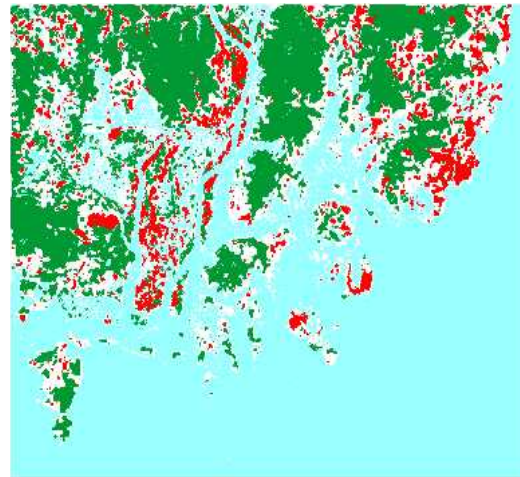


FIGURE 10. The changed area with a sigma of threshold value from different date images

그림 12에서 보는바와 같이 흑색과 적색의 직사각형 부분이 눈에 띄게 보이는 것을 확인할 수 있다. 그림 13은 IKONOS 고해상도 위성으로 실제 변화 지역에 대한 검증을 위해 사용되었다. 흑색 직사각형은 부산경남경마공원 공사 현장($35^{\circ}.09'.18$, $128^{\circ}.52.35$)으로 한국마사회에서 운영하는 경마장 중 하나

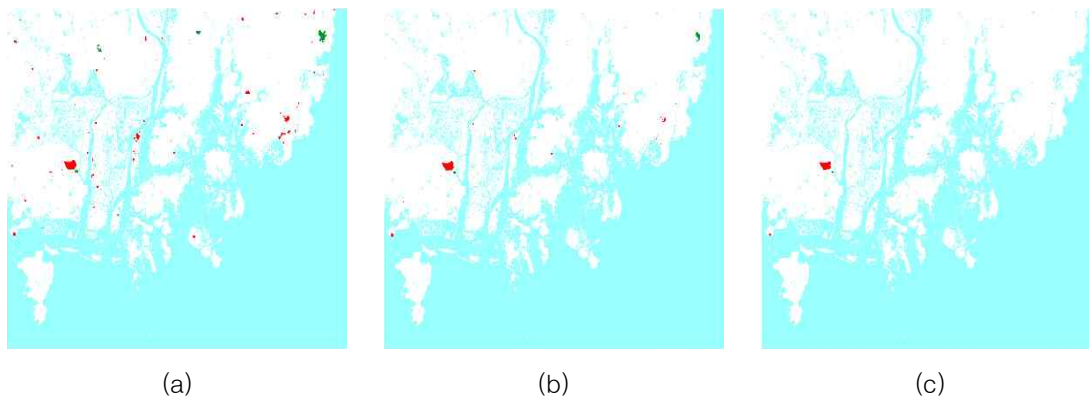


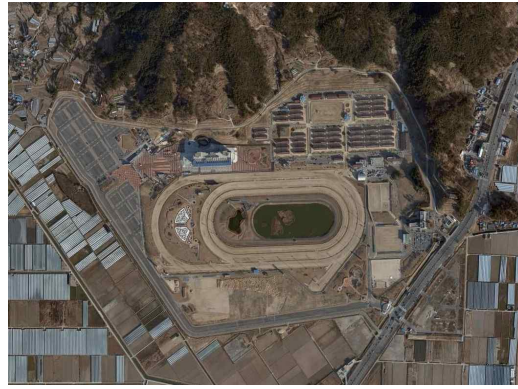
FIGURE 11. The changed area with various sigma of threshold values from different date images; (a) is 3 sigma threshold, (b) has 6 sigma and 8 sigma is applied to (c)

다(그림 13 (a)). 면적은 124만 3,101m²며 부산광역시 강서구 범방동과 경상남도 김해시 장유면 수가리에 절반씩 걸쳐 있다. 2001년 7월 26일 착공하여 2004년 12월 31일 준공하였다.



FIGURE 12. The surface changed area by using long term SPOT/VEGETATION NDVI threshold values

적색 직사각형은 부산신항만 공사현장(35° .05 '00, 128° .18.01)으로 경남 진해시 및 부산 강서구 해역에 위치하고 있으며, 개발규모는 507만평이다 (그림 13 (b)). 1995년부터 2011년까지 남쪽컨부두 12선석 방파제 1.49km 투기장호안 20.8km 가덕에서 삼랑진 철도 38.8km 국도 23km 등 배후 시설이 매우 큰 규모로 이루어지고 있는 공사다. 신항만 준공으로 전체시설 30선석이 운영될 경우 연간 10조원의 부가가치와 8만명 이상의 고용창출 효과가 발생한다. 특히 항만배후부지, 준설토투기장및 경제자유구역의 경제활동이 추가된다면 천문학적인 경제효과가 기대되는 만큼 변화 탐지에 있어 중요한 연구 지역이라 할 수 있다.



(a)



(b)

FIGURE 13. The higher spatial resolution image to validate changed area from IKONOS. (a) is Busan-Gyeongnam Racecourse, (b) is Busan New Port

요 약

본 연구에서는 지면 환경 변화 탐지를 위해 고해상도에서는 Landsat 영상을 이용하였고, 중저해상도에서는 대기 보정 및 방향성 보정이 수행된 장기간 SPOT/VEGETATION NDVI 자료를 이용하여 변화 탐지를 위한 임계치 기준을 마련하였다. 광역단위 지면변화 특성을 효율적으로 탐지하기 위한 방법을 제시 하였고 이미지 차연산을 활용했을 때 지구 관측위성과 같은 중저해상도의 위성을 장점을 이용하여 주관적으로 결정되었던 임계값을 객

관적으로 접근할 수 있는 방안을 마련하였다. 반사도 값을 이용하여 이미지 차연산을 수행할 경우 다양한 문제에 봉착하게 된다. 반사도 값만을 이용할 경우 태양, 위성각의 변화에 따른 이방성으로 인해 같은 지점 같은 시각에도 상이한 값이 관측될 가능성이 높아 반사도 자체의 차이로 변화를 결정하는 것은 무리가 있다. 중급해상도 영상의 경우 시계열적으로 다량의 자료가 확보 가능하다. 한 지점에서 짧은 기간 동안 다양한 관측각과 태양각의 영향을 모니터링 할 수 있어 시계열적으로 반사도의 이방성 효과 보정 가능하다. 하지만 고해상도의 경우 짧은 기간 동안 충분한 시계열 영상의 획득이 어렵기 때문에 현재의 기술로는 이방성 효과 제거 불가능하다.

표준편차로 임계값을 지정하였을 때 임계값의 변화에 따라 연구영역에서 보여 지는 변화 지역에 대한 관찰이 좀 더 용이하였다. 단순히 절대적인 NDVI 값을 임계값으로 지정하여 변화의 정도를 탐지 할 때는 실제 중규모 이상의 변화에 대한 탐지에 매우 어려움이 있었지만, 표준편차를 이용하여 임계치를 설정하고 변화를 탐지 할 때는 중규모 이상의 환경적인 변화로 인한 개발에 대한 지역을 쉽게 탐지할 수 있었다.

이전에 대부분의 고해상도 영상 분류 연구는 자체 영상을 활용하고 분류하여 판독하는 하는 과정을 거쳐 왔다. 최근 원격탐사 발전을 위한 또 다른 분야는 영상 융합이다. 영상 융합은 사용자에게 보다 많은 정보를 제공하기 위해 특성이 서로 다른 위성의 장점을 이용하는 것이다. 본 연구에서는 국토 개발로 인해 발생하는 구체적인 변화 지역에 초점을 두었다. 이는 무엇보다 본 연구의 성격이 구체적이고 명확한 결과물을 얻고자 하는 것이 아니라, 다양한 환경에 발생하는 변화 탐지 시 영상 융합에 대한 가능성을 제시하고자 하는 것이다. 따라서 향후 연구에서는 다양한 지표 특성에 따른 변화 탐지 임계치에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 기상청 “기상지진기술개발사업 CATER 2006-4106”의 일환으로 수행되었습니다. **KAGIS**

참고문헌

- 염종민, 한경수, 김영섭. 2005. 한반도 식생에 대한 MODIS 250m 자료의 BRDF 효과에 대한 반사도 정규화. *대한원격탐사학회지* 21(6):445-456.
- 염종민, 한경수, 이창석, 박운영, 김영섭. 2008. SPOT/VEGETATION NDVI 자료를 이용한 북한지역 식생 변화 탐지. *한국지리정보학회지* 11(2):28-37.
- 이가람, 김영섭, 한경수, 이창석, 염종민. 2008. 위성자료를 이용한 중국과 몽골 사막주변의 식생수분상태 모니터링. *한국지리정보학회지* 11(4):94-100.
- 이창석, 한경수, 염종민, 이가람, 송봉근. 2008. 히말라야산맥의 만년설 경년변화 연구. *한국지리정보학회지* 11(4):94-100.
- Canty, M.J. and A.A. Nielsen. 2008. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation. *Remote Sensing of Environment* 112:1025-1036.
- Conel, J.E. 1990. Determination of surface reflectance and estimates of atmospheric optical depth and single scattering albedo from Landsat Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing* 11:783-828.
- Coppin, P.R. and M.E. Bauer. 1994. Processing of multitemporal Landsat TM imagery to optimize extraction of forest

- cover change features. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 32:918–927.
- Du, Y., P.M. Teillet and J. Cihlar. 2002. Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. *Remote Sensing of Environment* 82:123–134.
- Hall, F.G., D.E. Strelbel, J.E. Nickeson and S.J. Goetz. 1991. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among Multidate. *Multisensor Images, Remote Sensing of Environment* 35:11–27.
- 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* 92:52–66.
- Heo, J. and W. FitzHugh. 2000. A standardized radiometric normalization method for change detection using remotely sensed imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66(2):173–181.
- Nielsen, A.A., K. Conradsen and J.J. Simpson. 1998. Multivariate alteration detection (MAD) and MAF postprocessing in multispectral, bitemporal image data: new approaches to change detection studies. *Remote Sensing of Environment* 64:1–19.
- Roujean, J.L., M. Leroy and P.Y. Deschamps. 1992. A bidirectional reflectance model of the earth's surface for the correction of remote sensing data. *Journal of Geophys Research*, 97: 20,455–20,468.
- Schaaf, C.B., F. Gao, A.H. Strahler, W. Lucht, X. Li, T. Tsang et al. 2002. First operational BRDF, albedo and nadir reflectance products from MODIS. *Remote Sensing of Environment* 83:135–148.
- Schott, J.R., C. Salvaggio and W.J. Volchok. 1988. Radiometric scene normalization using pseudoinvariant features. *Remote Sensing of Environment* 26:1–16.
- Song, C., C.E. Woodcock, K.C. Seto, L.M. Pax and S.A. Macomber. 2001. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects?. *Remote Sensing of Environment* 75:230–244.
- Yeom, J.M. and K.S. Han. 2009. An efficiency analysis for data synthesis of sun- and geo- synchronous satellites in kernel-driven BRDF model. *Asia-Pacific Journal of atmospheric sciences* 45(4):499–511.
- Yeom, J.M. and K.S. Han. 2010. Improved estimation of surface solar insolation using a neural network and MTSAT-1R data. *Computer & Geosciences* 36:590–597.
- Yeom, J.M., K.S. Han, Y.S. Kim and J.D. Jang. 2008. Neural network determination of cloud attenuation to estimate insolation using MTSAT-1R. *International Journal of Remote Sensing* 29(21):6193–6208.
- Yuan, D. and C.D. Elvidge. 1996. Comparison of relative radiometric normalization techniques. *ISPRS Journal of Remote Sensing* 51:117–126. 