

위성영상을 이용한 해안습지 지형경관 변화 분석의 효율성 평가

박의준* · 구자용**

Efficiency Assessment of Analysing Coastal Geomorphic Landscape Change by Satellite Image Interpretation

Eui Joon Park* and Cha Yong Ku**

요약 : 오늘날의 지형경관변화 분석은 그 규모와 시공간적 제한으로 말미암아 과거와 같이 연구자의 직접적인 참여관찰에 의해 취득된 정보만으로는 많은 한계를 가지게 된다. 이에 본 연구에서는 위성영상을 이용하여 직접적인 참여관찰이 어려운 해안습지 지역의 대규모 지형경관변화를 분석하는 방법들을 비교, 평가하는 것을 주목적으로 하였다. 연구지역은 지난 10년간 국제공항의 건설로 대규모 지형경관변화를 경험한 영종도 북부 해안습지를 사례지역으로 하였다. 분석방법은 기존의 마스크 기법을 보완한 화소차이 마스크 기법, 화소표준화 마스크 기법, NDVI 마스크 기법을 이용하였다. 분석결과 해안습지의 지형경관변화를 구체적이고 정확하게 반영하는 기법은 NDVI 마스크 기법인 것으로 판단되었다.

주요어 : 위성영상, 지형경관, 마스크 기법, NDVI, 변화 분석, 해안 습지

Abstract : It is difficult to analyse geomorphic landscape changes effectively by a field survey. A satellite image interpretation may play an important role to overcome such a problem. The purpose of this study is to assess the accuracy of different method to identify geomorphic landscape change by using satellite imagery. The study area is the Yongjong coastal wetland in which a huge man-made environmental change occurred to build a new international airport in the past decade. These changes may be summarized that a coastal landscape has been changed to a terrestrial landscape, and also a natural landscape to a man-made landscape. In order to detect these changes, we applied three different satellite interpreting methods, including a binary change mask using band difference, a binary change mask using normalized band difference, and a binary change mask using NDVI. We concluded that a binary change mask using NDVI is the best method among three different methods analysing the coastal geomorphic-landscape changes.

Key Words : satellite image, geomorphic landscape, binary change mask, NDVI, change detection, coastal wetland

1. 서론

1) 문제제기 및 연구목적

지표공간상에 나타나는 지형경관의 변화를 추적하고 이에 대한 정보를 취득하는 것은 지리학의 핵심적인 연구주제이다(Hanson eds., 1997). 이를

위해 지리학 분야에서는 일찍이 현장조사를 중심으로 하는 참여관찰법을 이용하여 이에 대한 연구를 수행하여 왔다. 그러나 오늘날의 지형경관변화 분석은 변화의 시공간적인 제한성 및 규모의 거대함 때문에, 과거와 같이 연구자의 직접적인 참여관찰에 의해 취득된 정보만으로는 많은 한계를 가지

* 환경부 국립환경연구원 생물다양성연구부 책임연구원(Senior Research Fellow, National Institute of Environmental Research), ejpark810@dreamwiz.com

** 상명대학교 사회과학부 지리학과 조교수(Assistant Professor, Department of Geography, Division of Social Sciences, Sangmyung University), koostar@smu.ac.kr

는 것도 사실이다.

이러한 한계는 원격탐사기법(remote sensing)이 지표공간분석에 도입되면서 상당 부분 극복될 수 있었다. 특히 20세기 후반 이후 과학기술의 획기적인 발달에 힘입어 위성영상기법이 여러 분야에 걸쳐 적용되면서 대규모 지형경관변화를 실내에서 모니터링할 수 있는 여러 가지 기법이 활발하게 도입되고 있다(Lyon and McCarthy, 1995). 시간에 따라 변화하는 동적인 정보의 경우 위성영상을 이용하면 변화하는 패턴이나 유형을 공간적으로 파악할 수 있다는 장점이 있고, 위성영상은 일정 주기로 동일한 지역을 촬영하면서 최신 영상을 제공할 수 있기 때문이다. 특히 해안습지와 같이 환경변화에 따른 지형경관 변화가 역동적이고 대규모로 나타나는 지역의 경우 위성영상을 이용하면 보다 효과적이고 경제적인 변화 모니터링이 가능하다.

이러한 이유 때문에 위성영상을 이용하여 해안습지의 변화를 파악하고 분석하는 기법이 오래 전부터 연구되어 왔다(Jensen et al. 1987; Jensen et al. 1993; Wheeler 1993; Green et al. 1994). 특히 미 해양대기국(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)에서는 미국전역을 대상으로 해안습지의 파악과 관리를 위한 대규모 프로젝트를 진행하고 있다(<http://www.csc.noaa.gov/crs>). 해안환경변화프로그램(C-CAPS, Coastal Change Analysis Program)이라 명명된 이 프로젝트에서는 광범위한 지역의 습지정보를 수집하기 위하여 위성영상, 특히 Landsat TM 자료를 활용하여 습지의 현황을 파악하고 그 변화특성을 분석하고 있다.

이에 본 연구에서는 위성영상을 이용하여 직접적인 참여관찰이 시공간적으로 제약을 받는 지역의 대규모 지형경관변화를 분석하는데 있어 가장 정확한 방법을 모색하는 것을 주목적으로 하였다. 그리고 이러한 연구목적을 효과적으로 구현하기 위하여, 대규모 인위적인 지형경관변화가 빈번하게 나타나면서 동시에 연구자의 접근성이 상대적으로 떨어지는 해안습지 지역을 연구대상으로 삼았다.

2) 이론적 배경: 위성영상을 이용한 해안습지 지형경관 변화 분석

원격탐사기술이 도입된 이래 이를 이용하여 습

지의 현황을 파악하고 그 변화를 분석한 연구는 꾸준히 지속되어 왔다. 초기에는 항공사진을 이용한 습지분석이 주로 진행되었으나 위성영상이 이용되면서부터 이를 이용한 습지파악과 변화분석에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. Pickus 등(1990)은 루이지아나 지역을 대상으로 미국 환경청(EPA)의 습지파악 프로그램에 적당한 기법을 모색한 결과 TM 영상이 가장 효율적인 영상이라고 제시하였다. 이들의 연구에 의하면 TM은 85%의 정확도를 나타낼 뿐만 아니라 NWI의 습지지도와 비교한 결과 90%의 높은 상관도를 보이고 있다고 하면서 LANDSAT TM 영상을 다른 2차자료와 함께 이용할 경우 매우 효율적인 습지관리가 될 것이라고 예측하였다. 한편 Luman(1990)은 USGS의 토지피복 분류체계를 이용하여 일리노이 지역의 습지를 분류한 결과 전반적으로 85%의 정확도가 나타났으며, 구체적으로는 관목지역(shrubland)이 62%, 습지가 76%, 물이 97%의 정확도를 보였다고 결론지으면서 TM 자료가 습지의 파악에 매우 유용하다고 결론지었다.

해안습지 지형경관 분석에 있어서 위성영상을 이용하였을 경우 다른 분석방법에서 취득할 수 없는 가장 큰 장점 중의 하나는 그 변화양상을 파악할 수 있다는 것이다. 위성영상은 동일한 지역에 대하여 주기적인 자료를 제공해주고 있으며, 이에 다양한 위성영상의 분류과정에 의해 지도화된 습지의 변화단계를 모니터링할 수 있기 때문이다.

이러한 해안습지의 주기적인 모니터링 및 변화양상 분석을 위해서는 다음과 같은 조건이 필요하다. 첫째 위성영상의 공간해상도가 같아야 한다. 해안습지의 변화양상 분석은 GIS의 중첩연산을 필요로 하기 때문에 같은 해상도의 자료가 필요하며, 이를 위해서는 같은 센서로부터 촬영한 영상을 이용하는 것이 가장 이상적이다. 둘째 서로 다른 일시에 촬영된 위성영상들은 기상상태나 센서의 영향 등에 따라서 같은 지표면의 물체라도 다른 값의 반사도를 가질 수 있기 때문에 각 위성영상의 반사도값을 정규화하여 영상의 촬영조건을 일치시켜야 한다. 셋째 영상을 분류할 경우 분류체계나 기호 등이 통일되어야 한다. 같은 습지유형을 다른 분류체계로 표현할 경우 변화분석은 불가능하기 때문이다.

이와 같은 이론적 틀을 바탕으로 지금까지 외국에서는 위성영상을 이용하여 변화양상을 파악하는 기법을 다양하게 개발하여 왔다. 대표적인 사례는 다음과 같다. 첫 번째는 두 시기의 영상을 하나의 영상으로 합친 후 변환하여 분석하는 방법이다(Fung *et al.*, 1987). 이 기법은 간단한 조작만으로 영상의 변화한 부분을 찾을 수 있다는 장점이 있지만, 토지유형의 변화양상은 반영할 수 없다는 한계를 가지고 있다. 두 번째는 래스터 지도중첩 기법을 응용한 방법으로, 두 개의 영상을 지도대수 연산을 통하여 차이를 분석하는 기법이다(Price *et al.*, 1992). 이 방법은 습지의 변화지역을 찾는 간단하고 효과적인 기법으로 평가받고 있으며 많은 연구에서 실제로 이용되고 있다는 제한점을 가지고 있다. 그러나 습지의 변화성격에 대한 정보는 제공하고 있지 않다. 세 번째는 서로 다른 일시에 촬영된 영상을 따로 분류하여 습지정보를 추출한 후 분류된 영상을 비교하는 기법이다(Rutchev *et al.*, 1994). 이 기법에서는 분류계급마다 변화된 계급을 행렬의 형태로 작성하여 두 영상을 비교하는데 이 행렬을 변화 행렬(change detection matrix)이라 한다. 이 방법은 분류된 영상으로부터 습지의 변화를 파악하기 때문에 영상의 분류정확도가 전체의 연구결과에 큰 영향을 미치고 있고 따라서 영상의 분류과정에서 정확성 평가가 수반되어야 한다.

3) 연구방법 및 자료

본 연구에 이용된 자료는 1985년 10월 21일과 1996년 9월 1일 촬영한 Landsat TM 영상과 2000년 9월 4일 촬영한 Landsat - ETM+ 영상이다. 해당 시기의 1:25,000 지형도를 보조자료로 이용하였다. 분석에 이용된 소프트웨어는 PC용 ER-Mapper 프로그램이다. 본 연구의 방법은 크게 다음의 4단계로 나누어 수행되었다.

첫 번째 단계는 연구지역을 설정하고, 연구지역에서 나타난 지형경관변화에 대한 데이터 및 정보를 수집하는 단계이다. 이 단계에서는 연구지역의 시기별 지형도 및 문헌자료 등을 통해 연구지역의 실제적인 지형경관변화에 대한 정보를 추출하였다.

두 번째 단계는 위성영상분석기법에 대한 이론적 고찰 단계이다. 이 단계에서는 기존의 분석기법의 한계를 고찰하고 이러한 분석기법의 제한점을

보완할 수 있는 새로운 분석기법을 고찰하는 단계이다. 본 연구에서는 기존의 마스크 기법을 보완한 화소차이 마스크 기법, 화소표준화 마스크 기법, NDVI 마스크 기법을 고찰하였다.

세 번째 단계는 시기별 위성영상을 판독하고 해석하는 단계이다. 이 과정을 수행하기 위하여 연구지역의 지형경관변화 양상을 비교할 수 있다고 판단된 1985년, 1996년, 2000년 세 시기의 위성영상을 앞의 3가지 기법을 이용하여 판독하고 해석하였다.

네 번째 단계는 3가지 기법을 바탕으로 취득한 지형경관변화의 정보를 첫 번째 단계에서 파악한 실제 지형경관변화 데이터와 비교하고, 3가지 기법 가운데 가장 효과적이고 정확하게 지형경관변화를 반영한 기법을 판단하였다.

2. 연구지역

1) 개요

본 연구의 대상지역은 행정구역상으로는 인천광역시에 속해 있는 1,217ha 면적의 해안습지 지역이다. 흔히 영종도 북부 갯벌로 칭해지는(AWB · WWF, 1989) 연구지역은 한반도 서해안의 대표적인 갯벌 퇴적지형이다(그림 1)¹⁾. 그러나 1992년 이후 시행된 인천국제공항의 건설로 말미암아 현재는 대부분의 해안습지가 공항부지로 대표되는 인공건조지형(built environment)으로 변화된 지역이기도 하다. 따라서 연구지역은 10년이라는 짧은 시간동안에 해안지형경관이 육상지형경관, 자연경관이 인

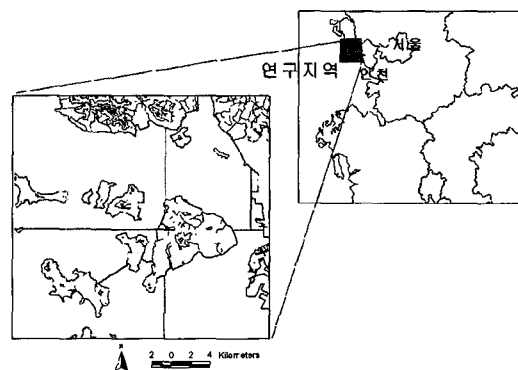


그림 1. 연구지역의 위치

조경관으로 변화된 대표적인 해안습지로서 본 연구의 목적에도 부합되는 지역이라고 할 수 있다.

2) 공항건설에 따른 지형경관변화²⁾

본 연구의 목적을 효과적으로 수행하기 위해서는 위성영상분석 이전에 연구지역의 실질적인 지형경관변화에 대하여 정확한 데이터를 수집하여야 한다. 여기서 수집된 데이터가 차후 분석할 위성영상분석 효율성의 잣대가 되기 때문이다.

공항건설을 위한 매립이 시작되기 이전과 이후의 위성영상 비교를 통해서도 알 수 있듯이, 연구지역에 국제공항이 건설되면서 나타난 지형경관변화의 핵심적인 사항은 해안습지의 육지화라고 할 수 있다(그림 2·3). 그런데 여기서 한 가지 주목할 사항은 인천국제공항의 시기별 건설공정이다. 인천국제공항의 건설공정을 살펴보면, 크게 갯벌의 매

립이 추가 된 시기, 매립지에 본격적으로 구조물을 건설한 시기로 구분된다(<http://www.airport.or.kr>).

첫 번째 시기는 본격적인 매립이 시작된 1992년에서 1995년 사이의 기간으로, 이 기간의 주요 지형경관변화는 갯벌이 매립지로 조성이 되고 기존의 갯벌에 식생이 정착하여 염생습지화되는 등, 해안지형이 육상지형으로 변화된 시기이다. 두 번째 시기는 매립사업이 완료된 후 본격적으로 공항시설이 건설된 1996년에서 2000년 사이의 기간으로, 이 기간의 주요 지형경관변화는 매립지와 염생습지에 인공조립 및 인공구조물이 들어서면서 매립지 경관이 인공건조경관으로 변화된 시기이다(표 1).

이러한 주요 지형경관변화를 뒤에서 분석할 위성영상에서의 토지피복(land cover)에 적용하면 다음과 같다. 첫 번째 시기는 갯벌 및 염생습지가 나



그림 2. 1985년의 연구지역



그림 3. 2000년의 연구지역

표 1. 연구지역의 시기별 지형경관 및 토지피복변화

시기	건설공정	주요 지형경관변화	주요 토지피복변화
1992~1995	갯벌의 매립	<ul style="list-style-type: none"> · 갯벌 → 매립지 · 염생습지 → 매립지 · 갯벌 → 염생습지 	<ul style="list-style-type: none"> · 갯벌 → 나지 · 식생피복지 → 나지 · 갯벌 → 식생피복지
1995~2000	매립지내 구조물 건설	<ul style="list-style-type: none"> · 매립지 → 인공조립지 · 매립지 → 인공구조물 · 염생습지 → 인공구조물 	<ul style="list-style-type: none"> · 나지 → 식생피복지 · 식생피복지 → 나지

지로 변하고 갯벌이 식생피복지로 변한 것으로 해석할 수 있으며, 두 번째 시기는 나지가 식생피복지, 식생피복지가 나지로 변한 것으로 해석할 수 있다. 이와 같이 실제적인 지형경관변화를 위성영상에서의 토지피복변화에 적용하는 것은 분석기법의 효율성을 평가하는데 중요한 기준이 된다.

3. 해안습지 분석을 위한 위성영상 해석 방법

1) 기존 분석방법의 한계

지금까지 위성영상을 이용하여 특정 지역의 지형경관변화 패턴을 분석하는데 가장 많이 사용된 방법은 시기별로 영상을 각각 분류하여 그 결과를 비교하는 것이다. 기존의 이 방법에서는 분류된 화소들이 시간의 변화에 따라 어떠한 토지유형으로 변화하였는가를 교차 테이블(cross table) 형태로 분석한다. 그러나 이러한 분석기법을 해안습지에 적용하는 것은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

첫째, 전체지역을 대상으로 하기 때문에 상대적으로 해안습지 부분의 분석이 과소평가될 수 있다. 둘째, 전체영역을 대상으로 영상을 처리하므로 영상처리과정이 복잡하고 시간이 오래 소요된다. 셋째 영상분류과정에서 해안습지와 관련이 없는 지역에 대해서도 처리하여야 하기 때문에 영상분류의 정확도가 저하될 수 있다. 이러한 문제로 인하여 영상의 분류결과를 비교하는 기법은 해안습지의 변화분석과정에서는 많이 이용되지 않고 있다.

따라서 이러한 한계를 극복하고자 최근에 해안습지의 변화를 추적하는 연구에서 가장 추천하는 방식이 해안습지의 변화지역을 마스크로 가려내고 이렇게 마스크화된 영역만을 대상으로 토지유형의 변화를 추적하는 것이다(Jensen, 1994). 이는 해안습지를 적절히 표현하고 있는 밴드를 선정하고, 시기별로 이들 화소의 차가 큰 화소들을 마스크로 이용하는 것이다.

따라서 본 연구에서는 위성영상을 이용하여 해안습지의 변화지역을 파악하고자 제시된 마스크 기법을 고찰하고, 이러한 기법이 가지고 있는 문제점을 보완한 분석기법을 제시하고자, ① 다른 연구에서 제시된 기법인 화소차이 마스크 기법을 고찰하고 이를 보완·수정한 ② 화소표준화 마스크 분석기법

과 ③ NDVI 마스크 분석기법을 제시하였다. 각 기법의 분석원리와 방법을 정리하면 다음과 같다.

2) 화소차이 마스크 기법

이 기법은 연구 대상지역 중에서 해안습지가 변화한 지역만을 마스크 형식으로 추출하여 토지피복의 변화를 분석하는 기법이다. 구체적인 분석기법과 단계는 다음과 같다(그림 4). 첫째, 지도대수법을 이용하여 해안습지가 변화한 지역을 추출한다. 해안습지를 가장 적절히 표현하고 있는 밴드의 영상을 추출한 후, 시기별로 영상의 화소값의 차이를 구하고, 그 결과 임계치(threshold) 이상의 많은 차이를 보이는 화소들을 습지가 변화한 지역으로 설정한다. 둘째, 변화지역으로 설정된 지역만 남기고 나머지 지역을 가린(마스킹) 후, 변화한 지역만을 대상으로 영상분류를 하고 결과를 비교한다. 영상에서 마스크로 추출된 지역만을 대상으로 두 시기의 영상을 비교·분석하여 변환된 지역의 특성을 파악한다.

이 방법은 습지와 변화지역과 변화경향을 모두 분석할 수 있는 효과적인 기법으로 평가된다. 또한 영상을 분류할 때, 전체영상을 대상으로 하지 않고

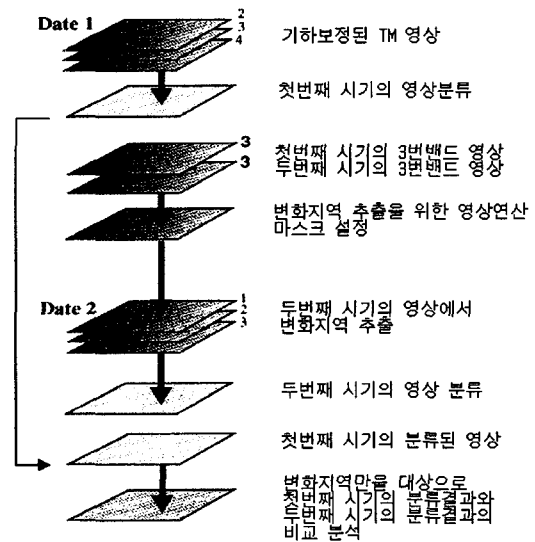


그림 4. 화소차이와 마스크를 이용한 해안습지 변화탐지 기법

출처 : Jensen, 1996, 271

일부지역만을 대상으로 하기 때문에 분류정확도를 높일 수 있으며, 영상의 일부만을 처리하므로 처리 시간이나 효율성 면에서도 우수하다. 또한 해안습지 변화지역을 먼저 추출한 후, 해당지역을 대상으로 심층적인 변화분석이 가능하다. 그러나 처리과정이 복잡하고, 영상에서 습지가 변화한 지역, 즉 마스크 지역의 설정에 연구결과가 좌우된다는 단점을 가지고 있다. 또한 서로 다른 시기의 영상에서 화소값의 차이를 계산할 때, 영상의 촬영상황이 서로 다르기 때문에 반사도의 단순한 차이연산과 비교에는 무리가 있다

3) 화소표준화 마스크 기법

앞서 살펴 본 화소차이 마스크 기법은 위성영상의 시기별 화소값의 분포를 고려하지 않고 단순히 화소값의 차이를 구하고 있는 것으로, 이는 영상의 촬영상황에 따라 화소값의 차이가 달리 나타날 수 있기 때문에 해안습지의 변화지역을 설정하는 과정에서 다른 결과가 나타날 수 있다. 즉, 영상의 촬영상황에 따라 실제로는 변하지 않은 영역이 변화한 영역으로 잘못 해석될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 통계적인 방법을 이용하여 이러한 화소차이 마스크 기법의 한계를 보완한 화소표준화 마스크 기법과 NDVI 마스크 기법을 제시하고자 한다.

우선 화소표준화 마스크 기법의 분석 과정은 다음과 같다. 첫째, 각 시기별 영상에서 해안습지를 적절히 표현하는 밴드를 추출하고, 화소값의 평균과 표준편차를 구한다. 둘째, 평균과 표준편차를 이용하여 각 화소의 값을 표준화 점수로 변환한 후, 뺄셈연산을 통해 변화지역을 추출한다. 이 단계에서 표준화 점수를 구하는 방법은 다음과 같다.

$$\text{표준화 점수} = (\text{화소값} - \text{평균}) / \text{표준편차}$$

이 기법은 영상의 화소값을 그대로 분석에 이용하지 않고 표준화 점수로 변환하여 분석에 이용하도록 보완되었다. 셋째, 뺄셈연산 이후 얻어진 화소값의 차이는 그대로 마스크를 작성하는데 적용되며, 마스크를 이용하여 해안습지 변화지역의 토지유형 변화를 분석한다.

이 기법은 단순한 지도대수의 차이연산이 가지고 있는 시기별 반사도의 차이를 통계학적으로 보완하여 영상의 촬영상황의 차이에 따른 분석의 문

제를 해결하고자 하였다. 그러나 영상에서 화소의 분포가 정규분포가 아닐 경우 표준화 점수의 의미가 상실될 위험이 있다.

4) NDVI 마스크 기법

화소차이 마스크 기법을 보완하기 위한 두 번째 기법은 NDVI 마스크 기법이다. NDVI 마스크 기법은 영상을 표준점수로 변환하는 대신에 식생의 밀도를 표현하는 식생지수(NDVI; normalized differences in vegetation index)로 변환하여 화소의 표준화와 식생밀도를 함께 고려하도록 보완한 기법이다. NDVI를 구하는 기본적인 식은 다음과 같다.

$$\text{NDVI} = (\text{적외선밴드 화소값} - \text{적색밴드 화소값}) / (\text{적외선밴드 화소값} + \text{적색밴드 화소값})$$

NDVI는 식생의 밀도를 표현하면서 표준화되어 있기 때문에 지도대수법에 의한 영상의 차이를 구할 때 더욱 효과적으로 작용될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 영상의 차이를 구하기 이전에 각 화소들마다 NDVI를 구하고, 이 값을 뺄셈으로 연산하여 해안습지의 변화지역을 설정하도록 보완하였다. 뺄셈연산 이후 얻어진 화소값의 차이는 마스크를 작성하는데 적용되며, 마스크를 이용하여 해안습지 변화지역의 토지유형 변화를 분석한다.

이 기법은 영상의 시기별 반사도의 차이를 보완하면서 식생밀도를 이용하여 습지의 변화를 추적할 수 있는 기법이라 할 수 있다. 그러나 해안습지의 변화를 식생밀도의 차이로만 추적하기 때문에 식생 이외의 요인에 대한 분석이 필요하다.

4. 위성영상을 이용한 해안습지 지형 경관변화 정보 추출

본 연구에서는 연구대상 지역을 1985년과 1996년에 촬영한 Landsat TM 영상과 2000년 촬영한 Landsat ETM+ 영상을 이용하였다. 각각의 영상은 지상기준점을 이용하여 기하보정하였고, 영상의 좌표값을 일치시켜(registration), 변화지역의 분석이 가능하도록 처리하였다. 위에서 정리한 3가지 기법을 이용한 1985~1996, 1996~2000 사이의 위성영상 해석결과를 바탕으로 연구지역의 지형경관변화 분

석결과를 유형별로 정리하면 다음과 같다.

1) 위성영상의 시기별 토지피복 분류와 비교

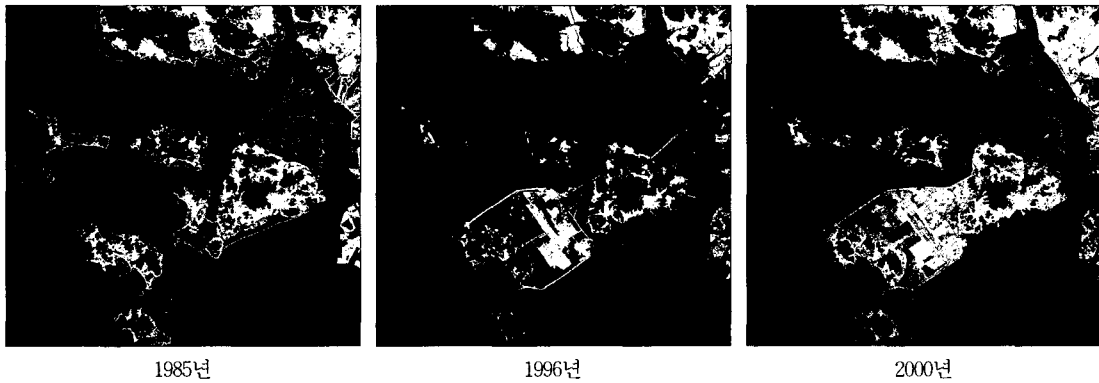
1985년, 1996년, 2000년에 각각 촬영된 Landsat-TM 영상을 이용하여 식생피복지, 나지, 갯벌, 바다의 네가지 유형으로 토지피복을 분류하였다³⁾. 시기별로 분류된 영상은 그림 5와 같으며, 이들 영상을 시기별로 중첩하여 각 화소들의 교차참조(cross table)한 결과는 표 2와 같다. 표에서 열은 첫 번째 시기의 토지피복 분류결과이며, 행은 두 번째 시기의 토지피복 분류결과이다. 표에서 설명하는 단위는 첫 번째 시기의 토지피복에서 두 번째 시기의 토지피복으로 변화한 면적을 화소수로 표현한 것이다.

이 시기의 변화를 정리하면 첫째, 1985년에서

1996년 사이에는 바다로 분류되었던 많은 화소들이 갯벌로 변화하였으며, 나지가 식생피복지로 변화하였다. 표 2에서 바다열과 갯벌행에 해당하는 값인 64,995 개의 화소와, 나지열과 식생피복지행에 해당하는 32,901개의 화소들이 이러한 변화를 보여주고 있다. 둘째, 1996년에서 2000년 사이에는 갯벌로 분류되었던 많은 화소들이 바다로 변화(40,756 화소)하였으며, 식생피복지가 나지로 변화(41,586 화소)하였다.

2) 화소차이 마스크를 이용한 비교

강화도 남단과 영종도 영상을 대상으로 그림 4의 영상처리 절차와 같이 3번 밴드를 추출하여 년도별로 반사도의 차이를 구한 후, 차이가 큰 지역을 해안습지 변화지역으로 추출하였다. 화소값의



: 나지 ■: 갯벌 ■: 식생피복지 ■: 바다

그림 5. 시기별 위성영상 토지피복 분류결과

표 2. 토지피복 분류유형의 시기별 교차 참조표

단위 : 화소수

		1985년			
		식생피복지	나지	갯벌	바다
1996년	식생피복지	103,026	32,901	13,252	4,963
	나지	5,333	40,932	9,719	8,122
	갯벌	6,440	14,653	58,893	64,995
	바다	615	215	630	538,705
		1996년			
		식생피복지	나지	갯벌	바다
2000년	식생피복지	98,278	3,486	4,228	1,565
	나지	41,586	51,463	12,310	1,315
	갯벌	9,846	9,054	87,687	5,453
	바다	4,432	103	40,756	531,832

* 굵은 수치는 강도를 나타냄(이하, 같음).

1985~1996년



1996~2000년



그림 6. 화소차이 마스크 기법에 의해 작성된 해안습지 변화 마스크

차이가 큰 지역의 선정기준은 평균에서 표준편차의 두 배에 해당되는 구역 이외에서 추출하였다. 이 지역은 화소값의 차이가 통계적으로 전체의 95%에서 벗어나는 지역이므로 화소값의 차이가 상당히 큰 지역이라 할 수 있다. 이러한 방법으로 추출한 해안습지 변화지역은 그림 6과 같다.

화소 마스크는 화소 차이의 값이 양(+)의 값을 가진 영역과 음(-)의 값을 가진 영역으로 양분할 수 있다. 화소의 차이가 양의 값을 가진 영역은 시간에 따라 화소값이 감소한 것으로, 식생이 줄고 수분이 증가한 것이므로 습지화된 영역이라 할 수

있다. 반면에 화소의 차이가 음의 값을 가진 영역은 시간에 따라 화소값이 증가한 것으로, 식생이 늘고 수분이 감소한 것이므로 반대로 육상화된 영

표 3. 화소차이 마스크 기법에 의한 시기별 마스크의 면적
단위 : 화소수

	1985~1996	1996~2000
습지화된 화소수	22,318	5,952
육지화된 화소수	23,218	53,755
변화된 화소수 합계	45,536	59,707

표 4. 화소차이 마스크 기법에 의한 시기별 마스크의 면적

단위 : 화소수

		1985년			
		식생피복지	나지	갯벌	바다
1996년	식생피복지	19	2,350	309	10
	나지	3,113	21,159	5,289	8,074
	갯벌	330	71	20	4,639
	바다	1	43	55	54
		1996년			
		식생피복지	나지	갯벌	바다
2000년	식생피복지	159	130	416	414
	나지	4,144	5,144	7,819	8,444
	갯벌	2,743	405	5,645	23,865
	바다	26	11	90	252

역이라 할 수 있다.

화소 마스크에서 양분되는 두 가지 영역의 면적을 시기별로 분석하면 표 3과 같다. 1985년에서 1996년 사이에는 습지와 육상화 마스크의 면적이 비슷하다. 그러나 1996년에서 2000년 사이에는 육상화된 면적이 습지화 면적보다 10배 이상 크게 나타났다.

화소 마스크로 설정된 해안습지 변화지역을 대상으로 토지피복 분류하여 해안습지의 변화형태를 분석한 결과는 표 4와 같다. 1985년에서 1996년 사이에는 대부분의 토지유형들이 나지로 변화하였다. 그러나 1996년에서 2000년 사이에는 바다에서 갯벌로 변화한 양상이 두드러지며(23,865 화소), 나머지 토지유형들은 대부분 나지로 변화하였다.

3) 표준화 화소차이 마스크를 이용한 비교

강화도 남단과 영종도 영상을 대상으로 3번 밴드를 추출하여 반사도의 표준화 점수를 구한 후, 년도별로 표준화 점수의 차이를 구하여, 차이가 큰 지역을 해안습지 변화지역으로 추출하였다. 반사도의 차이가 큰 지역의 선정기준은 평균에서 표준편차의 두 배에 해당되는 구역 이외에서 추출하였다. 이 지역은 화소값의 차이가 통계적으로 전체의 95%에서 벗어나는 지역이므로 화소값의 차이가

상당히 큰 지역이라 할 수 있다. 이러한 방법으로 추출한 해안습지 변화지역은 그림 7과 같다.

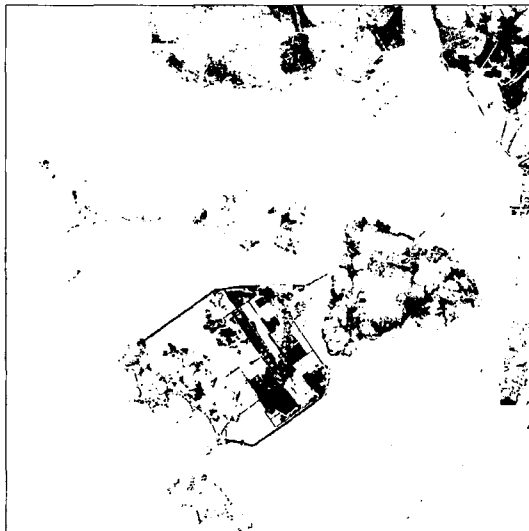
화소 마스크에서 양분되는 두 가지 영역의 면적을 시기별로 분석하면 표 5와 같다. 1985년에서 1996년 사이에는 습지화된 면적이 2배 이상 크게 나타났다. 그러나 1996년에서 2000년 사이에는 육상화된 면적이 1.5배 크게 나타났다.

화소 표준화 마스크로 설정된 해안습지 변화지역을 대상으로 토지피복을 분류하여 해안습지의 변화형태를 분석한 결과는 표 6과 같다. 1985년에서 1996년 사이에는 바다에서 나지로의 변화(7,915 화소)가 두드러지게 나타나고 있다. 1996년에서 2000년 사이에는 많은 화소가 식생피복지에서 나지(4,287 화소), 갯벌에서 나지(5,901 화소), 나지에서 갯벌(5,553 화소)로 변화한 것으로 나타났다.

표 5. 표준화 화소차이 마스크 기법에 의한 시기별 마스크의 면적

	단위 : 화소수	
	1985~1996	1996~2000
습지화된 화소수	39,069	14,712
육지화된 화소수	18,238	20,403
변화된 화소수 합계	57,307	35,115

1985~1996년



1996~2000년

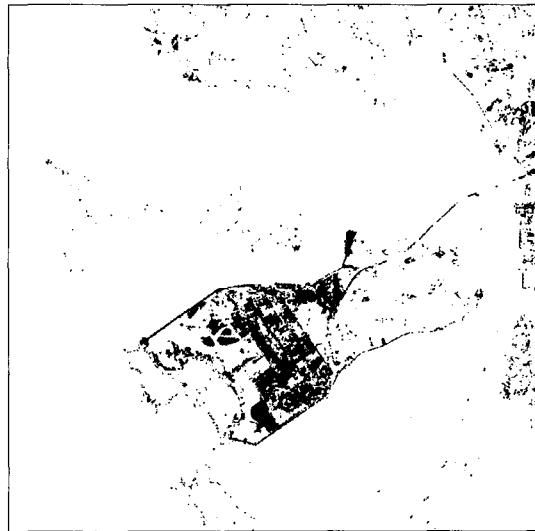


그림 7. 표준화된 화소차이 마스크 기법에 의해 작성된 해안습지 변화 마스크

표 6. 표준화 화소차이 마스크 기법에 의한 마스크의 시기별 토지피복 변화 단위 : 화소수

		1985년				
		식생피복지	나지	갯벌	바다	
1996년	식생피복지	16	7,486	994	18	
	나지	2,884	29,194	4,794	7,915	
	갯벌	167	748	1	2,864	
	바다	0	63	98	65	
		1996년				
		식생피복지	나지	갯벌	바다	
2000년	식생피복지	377	655	1,107	18	
	나지	4,287	8,209	5,901	816	
	갯벌	2,494	5,533	2,561	2,455	
	바다	43	89	476	74	

4) NDVI의 차이로 만든 마스크를 이용한 비교

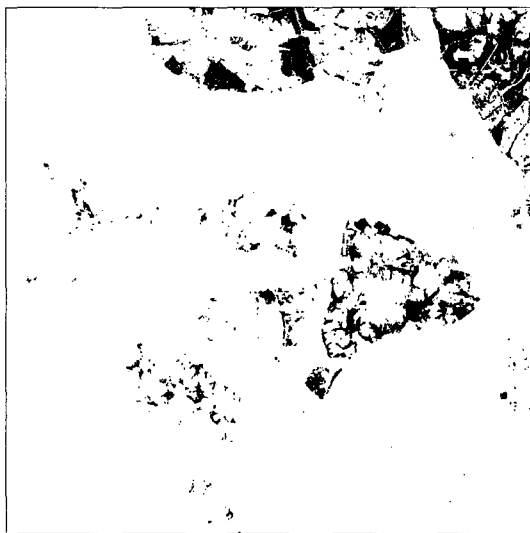
강화도 남단과 영종도 영상을 대상으로 3번 밴드와 4번 밴드를 이용하여 NDVI를 구한 후, 년도별로 NDVI의 차이를 구하여, 차이가 큰 지역을 해안습지 변화지역으로 추출하였다. 반사도의 차이가 큰 지역의 선정기준은 평균에서 표준편차의 두 배에 해당하는 구역 이외에서 추출하였다. 이 지역은 화소값의 차이가 통계적으로 전체의 95%에서 벗어나는 지역이므로 화소값의 차이가 상당히 큰 지역이라 할 수 있다. 이러한 방법으로 추출한 해안

습지 변화지역은 그림 8과 같다.

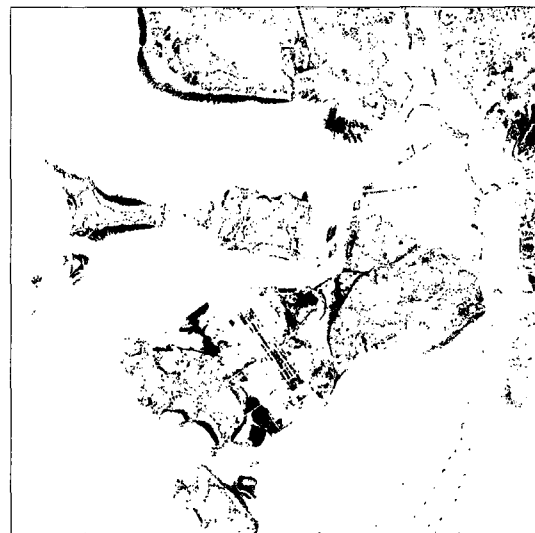
화소 마스크에서 양분되는 두 가지 영역의 면적을 시기별로 분석하면 표 7과 같다. 1985년에서

표 7. NDM 차이 마스크 기법에 의한 시기별 마스크의 면적 단위 : 화소수

	1985~1996	1996~2000
습지화된 화소수	3,017	36,286
육지화된 화소수	47,097	10,836
변화된 화소수 합계	50,114	47,122



1985-1996



1996-2000

그림 8. NDVI 차이 마스크 기법에 의해 작성된 해안습지 변화 마스크

표 8. NDVI 차이 마스크 기법에 의한 마스크의 시기별 토지피복 변화

단위 : 화소수

		1985년			
1996년		식생피복지	나지	갯벌	바다
	식생피복지	1,090	5,122	3,497	938
	나지	2,925	31,409	4,057	64
	갯벌	258	46	49	289
	바다	37	18	297	18
		1996년			
2000년		식생피복지	나지	갯벌	바다
	식생피복지	3,800	948	1,114	1,126
	나지	7,658	3,536	1,597	924
	갯벌	5,336	686	779	3,785
	바다	598	54	13,745	1,436

1996년 사이에는 육지화된 면적이 10배 이상 크게 나타났다. 그러나 1996년에서 2000년 사이에는 습지화된 면적이 3배 크게 나타났다.

화소 표준화 마스크로 설정된 해안습지 변화지역을 대상으로 토지피복 분류하여 해안습지의 변화형태를 분석한 결과는 표 8과 같다. 1985년에서 1996년 사이에는 나지에서 식생피복지로(5,122 화소), 갯벌에서 식생피복지(3,497 화소)와 나지로의 변화(4,057 화소)가 두드러지게 나타났다. 1996년에서 2000년 사이에는 많은 화소가 식생피복지에서 나지(7,658 화소)와 갯벌(5,336 화소), 갯벌에서 바다(13,745 화소)로 변화한 것으로 나타났다.

4. 논의점 및 결론

제 2장에서 언급한 바와 같이 연구지역의 지형

경관변화는 해안습지의 육지화(1985~1996), 육지화된 매립지의 인공구조물 조성(1996~2000)으로 정리할 수 있다. 따라서 본 연구에서 수행한 3가지 분석기법 가운데 이와 같은 실제적인 환경변화를 가장 잘 반영한 기법이 해안습지 지형경관변화를 모니터링하는데 있어서 가장 효과적인 방법으로 판단할 수 있다. 이를 위해 지금까지의 분석결과를 정리하면 다음의 표 9와 같다.

첫째, 화소차이 마스크 기법을 이용한 위성영상 분석 결과에 의하면 1985~1996년 사이에는 갯벌이 나지로 변화한 유형이 잘 반영되고 있어서 전체적으로 매립에 따른 해안습지의 육지화라는 실제적 환경변화를 잘 반영한다고 할 수 있다(표 9의 a). 그러나 갯벌이 식생지로 변화한 유형은 거의 반영이 되지 않아 갯벌이 염생습지로 육상화되는 것과 같은 정밀한 토지피복의 변화를 반영하는 데에는 한계가 있는 것으로 판단되었다(표 9의 b). 그리고

표 9. 네가지 변화분석 기법의 결과 비교

(단위 : 변화면적의 비율, %)

변화시기	변화된 내용	전체 토지피복 변화분석	화소차이 마스크 기법	표준화 화소차이 마스크 기법	NDVI 차이 마스크 기법
1985년부터 1996년까지	갯벌 → 나지	1.08	(a) 11.61	(d) 8.37	(g) 8.10
	수역 → 나지	0.90	17.73	13.81	0.13
1996년부터 2000년까지	갯벌 → 식생	1.47	(b) 0.68	(e) 1.73	(h) 6.98
	나지 → 식생	3.64	5.16	13.06	10.22
1996년부터 2000년까지	갯벌 → 나지	1.36	13.10	16.80	3.39
	수역 → 나지	0.15	14.14	2.32	1.96
1996년부터 2000년까지	갯벌 → 식생	0.47	0.70	3.15	2.36
	나지 → 식생	0.39	(c) 0.22	(f) 1.87	(i) 2.01

1996~2000년 사이의 경우 나지가 식생피복지로 새롭게 변화한 유형을 미미하게 반영하고 있어서 기존에 조성된 매립지 위에 새롭게 조성된 조경지 등과 같은 구체적인 토지피복변화는 잘 반영하지 못하는 것으로 판단되었다(표 9의 c).

둘째, 화소표준화 마스크 기법을 이용한 위성영상 분석 결과에 의하면 앞서의 화소차이 마스크 기법과 마찬가지로, 1985~1996년 사이에는 갯벌이 나지로 변화한 유형이 잘 반영되고 있어서 전체적으로 매립에 따른 해안습지의 육상화라는 환경변화를 잘 반영한다고 할 수 있다(표 9의 d). 그러나 이 기법 역시 갯벌이 식생지로 변화한 유형은 거의 반영이 되지 않아 갯벌이 염생습지로 육상화되는 것과 같은 구체적인 토지피복의 변화를 반영하는 데에는 역시 한계가 있는 것으로 판단되었다(표 9의 e). 그리고 1996~2000년 사이의 경우 나지가 새롭게 식생지로 변화한 유형을 미미하게 반영하고 있어서 기존에 조성된 매립지 위에 새롭게 조성된 조경지 등과 같은 구체적인 토지피복변화를 잘 반영하지 못하는 것으로 판단되었다(표 9의 f).

셋째, NDVI 마스크 기법을 이용한 위성영상 분석 결과에 의하면 1985~1996년 사이에 갯벌이 나지로 변화한 유형이 잘 반영되고 있을 뿐만 아니라(표 9의 g), 앞서의 두 기법에서 반영하지 못하고 있는 갯벌이 식생지로 변화한 유형도 잘 반영하고 있어서 해안습지의 육상화라는 환경변화를 좀 더 구체적이고 정밀하게 반영하고 있다고 판단되었다(표 9의 h). 그리고 1996~2000년 사이의 경우 나지가 새롭게 식생지로 변화한 유형 역시 앞서의 두 기법에 비해서 높은 비율로 반영하고 있어서 새롭게 조성된 토지피복의 양상을 효과적으로 반영하는 것으로 판단되었다(표 9의 i). 또한 1996~2000년 사이의 경우 기존의 염생습지가 인공구조물 지역으로 변하면서 토지피복상으로는 나지로 변하는 양상 역시 NDVI 마스크 기법이 가장 잘 반영하고 있는 것으로 판단되었다.

한편 3개의 기법에서 공통적으로 1996~2000년 사이에 실제적으로는 나타나지 않은 갯벌과 나지의 수역화라는 현상이 크게 반영된 것은 위성영상의 촬영시기와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다(표 4, 6, 8 참조). 즉, 조수가 교차한다는 해안생태계의 특성으로 말미암아 1996년의 위성영상은 간조

시 촬영된 것이고 2000년의 위성영상은 상대적으로 만조시 촬영된 것으로 판단할 수 있다. 따라서 해안지역의 지형경관변화를 위성영상을 이용하여 분석하는 경우에는 정확한 촬영시기 뿐만 아니라 촬영시기의 조석간만의 차를 우선적으로 이해하여야 한다는 점이 본 연구의 결과 나타났다고 판단된다.

결론적으로 시기별 위성영상을 이용하여 해안습지의 지형경관변화를 분석하는데 있어서 구체적이고 정확하게 변화양상을 반영하는 기법으로는 NDVI 마스크 기법인 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구와는 다른 현장에 대한 데이터 수집이 어렵고 기존의 연구결과도 미미한 해안지역의 지형경관변화를 위성영상을 이용하여 해석하고자 하는 경우, 여러 기법 가운데에서 NDVI 마스크 기법이 가장 효과적인 방법으로 밝혀졌다. 그리고 이러한 본 연구의 결과는 향후 특정 지역의 대규모 지형경관변화를 주기적으로 모니터링하는데 있어서 효과적인 기법을 제공하는 단초가 된다는 점에서 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다.

註

- 1) 세계습지협약에서 발행한 아시아 습지목록에서는 연구 지역을 '영종도 북부 및 강화도 남단 갯벌(North Yongjong and South Kangwha mudflat)' 이라고 명명하면서, 우리나라에서 가장 생태적 가치가 높은 해안습지의 하나로 평가하고 있다(Asian Wetland Bureau and World Wide Fund for Nature, 1989).
- 2) 일반적으로 지리학에서의 사례지역이라 함은 크게, 분석의 주 대상지역이라는 의미와 연구자가 설정해 놓은 가설을 검증하는 표본지역이라는 의미로 구분될 수 있다. 본 연구는 특정 지역의 대규모 지형경관변화를 위성영상을 이용하여 효과적으로 모니터링할 수 있는 기법을 이론적으로 분석하는 것이 주목적이기 때문에, 가장 대표적인 지형경관변화 양상만을 추적하였음을 밝혀둔다. 따라서 위성영상 촬영시기별 조차(tidal regime)에 따른 침수노출지역의 권역화 등의 세부적인 사항은 분석방법에서 제외되었으며, 본 연구의 결과 가장 효율적인 방법론이 제시될 경우 향후 특정지역의 지형경관변화를 분석하는 것이 주 목적인 연구에서는 이와 같은 세부적인 사항에 대한 고찰이 선행되어야 한다.
- 3) 토지피복의 명칭은 시기에 따라 차이가 있음에 주의하여야 한다. 예를 들어 나지의 경우 1985년은 식생이 정착하지 않은 도서지역 육지를 지칭하는 것인 반면, 1996년과 2000년은 매립지와 인공구조물을 지칭하는 것이다. 또한 식생피복지의 경우 1985년은 염생습지를 지칭하는

것인 반면, 1996년과 2000년은 염생습지와 인공조림지를 동시에 지칭하는 것이다.

文 獻

구자용 · 황철수, 2001, "위성영상 해상도에 따른 순천만 해안습지의 분류정확도 변화," 한국지리지리학회지, 7(1), 35-50.

김정욱 · 권오혁, 1993, 영종도 신공항: 문제점과 대안, 도서출판 하우.

박익준, 2001, "간석지 지형분류에 있어서 위성영상 활용방안에 관한 연구," 지리학연구, 35(2), 139-150.

Asian Wetland Bureau and World Wide Fund for Nature, 1989, *A Status Overview of Asian Wetlands*, Ramsar Convention Bureau, Asian Wetland Bureau.

Daiber, F.C., 1986, *Conservation of Tidal Marshes*, Van Nostrand Reinhold Company.

Fung, T. and E. LeDrew, 1987, Application of principal components analysis for change detection, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59(6), 1033-1038.

Green, L., D. Kempka, and L. Lackey, 1994, Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(3), 331-337.

Hanson, S.(eds.), 1997, *Ten Geographic Ideas That Changed the World*, Rutgers University Press.

Jensen, J.R., 1996, *Introductory Digital Image Processing*, Prentice Hall

Jensen, J.R., D.J. Cowen, S. Narumalani, J.D. Althausen, and O. Weatherbee, 1993, An evaluation of coastal change detection protocol in South

Carolina, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59(6), 1039-1046.

Jensen, J.R., E.W. Ramsey, H.E. Mackey, E.Christensen, and R.Sharitz, 1987, Inland wetland change detection using aircraft MSS data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(5), 521-529.

Lyon, J. G. and J. McCarthy, 1995, *Wetland and Environmental Applications of GIS*, Lewis Publishers.

NOAA, 1995, *NOAA Coastal Change Analysis Program(C-CAP): Guidance for regional implementation*, NOAA Technical Report NMFS 123(<http://www.csc.noaa.gov/crs/lca/proto2.html>).

Price, K.P., D.A. Pyke, and L. Mendes, 1992, Shrub Dieback in a semiarid ecosystem: the integration of remote sensing and GIS for detecting vegetation change, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58(4), 455-463.

Rutchey, K. and L. Velcheck, 1994, Development of an everglades vegetaion map using a SPOT image and the global positioning system, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(6), 767-775.

Wheeler, J.D., 1993, Commentary: linking environmental models with geographic information systems for global change Research, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59(10), 1497-1501.

<http://www.airport.or.kr>

최초투고일 03. 10. 10
최종접수일 03. 12. 19