

선분류 후비교법을 이용한 간석지의 토지피복 변화 및 패턴 분석 - 태안반도 지역을 사례로 -

장동호* · 김찬수** · 박지훈***

The Land-cover Changes and Pattern Analysis in the Tidal Flats Using Post-classification Comparison Method: The Case of Taeon Peninsula Region

Dong-Ho Jang* · Chansoo Kim** · Ji-Hoon Park***

요약 : 이 연구는 위성영상 자료(1972~2008년)를 이용하여 인위적인 환경변화에 따른 태안반도 간석지의 토지피복 변화를 시계열분석하고, 그 변화 패턴을 고찰하고자 하였다. 선분류 후비교법을 이용한 시기별 토지피복 변화를 분석한 결과, 1972년에서 2008년 사이에 태안반도 간석지의 토지피복은 갯벌에서 습지, 습지에서 논으로의 변화가 발생하였다. 세부적인 토지피복 변화 패턴을 분석하기 위해 변형된 선분류 후비교법을 이용하여 각각의 영상을 분석한 결과, 태안반도 간석지는 갯벌 → 습지 · 호수 및 염전 → 나대지 → 논 → 나대지로 변화하였음을 분석할 수 있었다. 선분류 후비교법의 적용을 위해서는 각 영상의 정확한 분류가 반드시 요구되는데, 분류된 영상의 전체정확도는 평균 95.33%로 나타났고, 카파값은 평균 0.941로 나타났다.

주요어 : 위성영상, 간석지, 태안반도, 토지피복, 선분류 후비교법

Abstract : This study investigated the land-cover changes in the tidal flat of the Taeon peninsula due to man-made environmental changes between 1972 and 2008, through time-series analysis based on a modified post-classification comparison method and multi-temporal satellite images. The analysis revealed that the land-cover of the tidal flat has changed from tidal flat to wetland and from wetland to paddy field between 1972 and 2008. Also, the pattern of detailed land-cover changes is as follows: tidal flat to wetland; lake and saltpan to bare land and paddy field. The accurate classification of each image is needed for the application of the post-classification comparison method. The overall accuracy of the classified images was found to be 95.33% on average, and the Kappa value was 0.941 on average.

Key Words : satellite image, tidal flat, Taeon peninsula, land-cover, post-classification comparison method

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(B00258).

* 공주대학교 지리학과 조교수(Assistant Professor, Dept. of Geography, Kongju National University), gisrs@kongju.ac.kr

** 공주대학교 응용수학과 부교수(Associate Professor, Dept. of Applied Statistics, Kongju National University), chanskim@kongju.ac.kr

*** 공주대학교 지리교육과 부교수(Associate Professor, Dept. of Geography Education, Kongju National University), pollenpjh@kongju.ac.kr

1. 서론

내만이나 도서로 가로막힌 해안에 잘 발달하는 간석지(갯벌)는 간조 시에는 해수면 위에 노출되고, 만조 시에는 다시 해수면 아래로 잠기는 현상을 되풀이 한다. 한국의 갯벌은 주로 니질간석지로 이루어졌으며, 완만한 지형경사와 풍부한 부유물이 공급되는 연안환경 그리고 큰 조차 환경에서 잘 발달한다. 이러한 갯벌은 매우 특이한 연안지형으로, 특히 거대한 내만의 모습을 보이는 황해 연안에 자리 잡은 서해안은 그 발달이 탁월하여 캐나다의 동부해안, 미국의 동부해안, 유럽의 북해연안 및 아마존강 유역과 더불어 세계 5대 갯벌지역으로 알려져 있다(Koh, 2001).

한국 서해안의 평균조차는 서해 남부에서 약 3m이며, 북쪽으로 갈수록 증가하여 군산 부근에서는 약 6m, 인천 부근에서는 8m에 달한다(Korea Hydrographic and Oceanographic Administration, 2009). 따라서 한국 서해안의 조석환경은 대부분 대조차 환경으로, 황해로 유입되는 한강, 금강, 만경강, 동진강, 영산강 등의 하구와 최종빙기 이후의 해수면 상승에 따른 해침에 의해 형성된 크고 작은 만입지에 대규모의 갯벌이 발달하였다. 대표적인 지역은 경기만, 남양만, 가로림만, 천수만, 곰소만 등으로 대부분 간척에 의해 현재는 그 원형이 많이 훼손되었다. 특히 태안반도 지역의 갯벌은 과거부터 염전이나 농지확보를 위한 소규모 간척과 현대에 들어 시행된 서산 A·B지구 및 이원지구와 같은 대규모 간척에 의해 그 원형을 대부분 상실한 상태이다.

농지확보를 위해 개간한 연안지역의 간척지는 기존의 농경지보다 범람에 취약하고, 해수욕장 주변의 건축물을 보호하기 위해 축조한 방조제는 해수욕장의 모래를 유실시키는 등 인위적인 환경변화에 따른 사회·경제적인 피해가 나타나고 있다. 특히 최근 들어 기후변화와 관련된 해수면 상승시 그 영향을 직접적으로 받는 지역이 간석지인 것으로 나타나 관심이 집중되고 있는 실정이다(Jang and Kim, 2009). 따라서 간석지에 대한 데이터 구축을 통해 간석지를 포함한 연안역에 대한 정확한 이해와 관리방안이 필요한 실정이다.

간석지에 대한 연구는 주로 현장에서 수집된 자료를 바탕으로 퇴적환경 변화라는 연구주제로 진행되어 왔다(DeLaune *et al.*, 1983; Hutchinson *et al.*, 1995; Brown and Davies, 2010). 국내에서도 이와 비슷한 주제로 연구되어져 왔으며, 대부분 서·남해안의 여러 만입지를 그 대상으로 하였다(Chang, 1995; Park, 2001; Oh *et al.*, 2006). 최근에는 호안이나 방조제와 같은 인공구조물 건설에 따른 간석지의 퇴적환경 변화를 고찰하려는 연구들이 진행되었다(Choi *et al.*, 1993; Lee and Lee, 2005; Ryu and Sin, 2006).

원격탐사 자료를 이용한 간석지 지역에 대한 연구는 국내·외에서 다양한 방법으로 이루어져 왔는데, Zarin *et al.*(2001)은 1976년에 촬영된 항공사진과 1991년에 획득된 Landsat 영상을 이용하여 아마존강 하구 조간대 지역의 토지피복 변화를 분석하면서 인간의 간섭에 의해 변화된 지역과 그 면적을 추출하였다. Chen *et al.*(2005)은 중국 남부 Lingding 만의 급격한 도시화에 따른 경관변화를 1974~1998년 사이에 발행되거나 획득된 지형도와 원격탐사 자료를 이용하여 간척 후 도시화에 따른 토지이용의 변화를 분석하였다. 또한 Kaiser(2009)는 1984년과 1991년, 2003년에 획득된 Landsat TM 및 ETM+ 영상을 이용하여 이집트의 East Port Said 항구 건설 프로젝트에 따른 주변 지역의 토지피복 변화를 분석하였다. 이밖에 Li *et al.*(2010)은 급격한 경제개발이 이루어지고 있는 중국 광둥성에 위치한 주강 삼각주의 해안선 변화 및 토지이용 변화를 1966년에서 2003년 사이의 지형도 및 위성영상 자료를 이용하여 분석하였다.

국내의 경우 Mun and Park(2003)은 신안군 비금도를 대상으로 원격탐사 자료 및 지형도를 이용하여 해안 간척지의 경제공간 변화를 분석하고 그 영향에 대해 연구하였다. Lee *et al.*(2005)은 위성영상과 지형도를 이용하여 북한 연평역야 일대 해안지역의 지형환경 변화 과정을 시계열적으로 파악하면서, 인위적인 개발에 의한 간석지의 토지피복을 분석하였다. 이밖에 Jo(2005)는 위성영상과 GIS를 이용하여 북한 서한만 지역의 간석지 분광특성 및 경년에 따른 간석지 면적 변화를 ISODATA 클러스터링 영상처리 기법으로 분석하였고, Yang and Choi(2006)는 60년간의 항공사진

과 수심측량 및 GPS측량 자료를 이용하여 해운대 해수욕장의 장기적인 해안지형 변화 및 인근지역의 토지피복 변화를 분석하였다.

이상의 기존 연구들은 인위적인 환경변화에 따른 간석지의 토지피복 변화를 살펴보기 위해 원격탐사자료를 이용하였다. 또한, 원격탐사자료를 이용한 간석지 연구는 간석지 자체의 지형변화나 지형분류에 대한 연구들이 대부분(Jo and Jo, 1999; Park, 2001; Lee *et al.*, 2007)으로, 간척과 같은 인위적인 환경변화에 따른 간석지의 토지피복 변화가 어떤 패턴을 가지고 변했는지에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 태안반도 지역의 간석지를 대상으로 다중시기 위성영상을 이용하여 간석지의 토지피복 변화를 시계열분석하고, 인위적인 환경변화(간척)에 따른 간석지의 토지피복 변화 패턴을 고찰하고자 하였다. 이를 통하여 인위적 해안선 변화에 따른 연안역의 장기 토지피복 변화 패턴을 평가하고, 향후 간척에 대한 적절한 대응방안을 제시함으로써 효율적인 연안역 관리 및 장기적인 국토관리계획에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 연구지역, 사용자료 및 연구방법

1) 연구지역 및 사용자료

연구지역은 태안반도 지역으로, 행정구역상 충청남도 태안군 일대의 간석지 지역이며, 지리적 좌표는 126°06'36"E~126°26'48"E, 36°23'47"N~36°58'42"N에 해당한다(Figure 1).

태안반도의 지질은 경기육괴의 변성 퇴적암인 서산층군과 경기편마암복합체가 분포하며, 대보화강암과 그 밖의 암석의 분포는 극히 일부 분포한다. 충청남도의 여러 만과 도시는 후빙기의 해수면 상승에 의한 해진에 의해 침수되어 형성된 것으로 알려져 있으며, 특히 태안반도 일대의 여러 만은 천수만에서와 같이 해진 이전에 구조선방향을 따라 차별침식에 의해 형성된 곡들이 침수되어 형성된 것으로 알려졌다(Kwon,

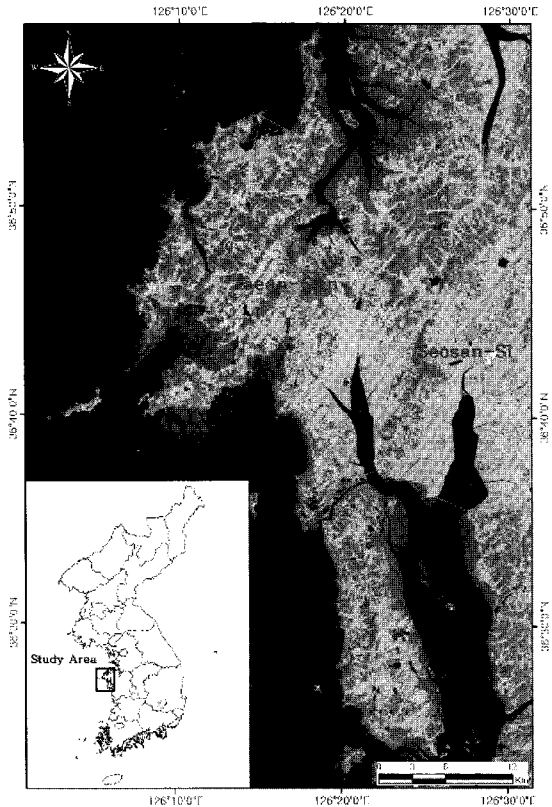


Figure 1. Study area (Landsat TM image of 18.09.2008). 연구지역 위치도.

1981).

태안반도의 해안지형은 연안 수심이 얇고 조차가 커서 간석지가 넓게 발달되어 있으나 좁은 배후지를 가지고 있는 것이 특징이다. 태안반도의 서쪽 및 북서쪽은 외해로 열려 있어 겨울철 북서 계절풍의 영향을 크게 받아 해빈이 집중적으로 분포하며 해수욕장으로 개발되어 관광지로 각광 받고 있다(Kahng, 2004). 반면에 안면도 동측의 천수만과 태안반도 북측의 가로림만, 근흥만 등과 같은 만입지에는 간석지의 발달이 탁월해 태안반도의 서쪽이나 북서쪽 해안과 이질적인 경관을 보여준다. 특히 천수만에 면한 안면도 동쪽 해안은 넓은 간석지가 발달해 있는데, 이는 천수만의 주요 조수로(tidal channel)와 갯골(tidal creek)이 보령시 쪽으로 치우쳐 지나가기 때문이다. 이들 간석지들은 과거부터 지금까지 크고 작은 간척이 계속 이루어져 해안선의 변화가 심하였다(Jang, 2001). 태안반도 지

역의 수심은 최고 80m 이내이며, 연근해의 수심은 20~30m 정도로서 낮은 편이다.

이 연구에서는 태안반도 지역의 간석지 토지피복 변화를 분석하기 위해 다중시기 위성영상을 사용하였다. 사용된 위성영상은 1972년도부터 2008년도까지 시기가 각기 다른 Landsat 자료이며, 각 시기의 위성영상 및 제원은 Table 1과 같다.

2) 연구방법

다중시기 영상자료의 분석은 다음과 같은 연구방법을 사용하였다. 먼저, 위성영상 획득 시 발생하는 기하학적 왜곡을 보정하기 위하여 1:25,000 수치지형도를 이용하여 지상기준점(GCP: Ground Control Point)을 선정한 후 vector to image 기법으로 2008년 영상에 기하학적보정을 실시하였다. 이후 기하보정된 2008년 영상을 이용하여 image to image 기법으로 나머지 영상들에 대해 기하학적 보정을 실시하였다.

일반적으로 Landsat 영상을 이용하여 태안반도의 전체 영상을 얻기 위해서는 동일 시기의 연속되는 영상이 필요하여, 본 연구에서는 기하보정된 동일 시기의 두 영상을 모자이크 처리하였다. 다음으로 1972년 위성영상을 기준영상으로 하여 지형도를 보조 자료로 이용하여 육지경계를 추출하였다. 이를 기준으로 각 연도별 영상자료를 마스크(masking)처리 하였다. 각각

의 영상은 마스크처리 지역 외에 대해 무감독분류를 실시하여 1차 분류 영상을 획득하였다. 무감독분류 알고리즘은 육상에서 토지피복 분류에 일반적으로 사용되는 K-Means 방법을 사용하였다. 본 알고리즘은 영상을 통해 얻고자 하는 군집의 개수를 사용자가 지정하도록 되어 있고, 사용자가 지정한 개수만큼의 군집중점을 다차원 측정 공간상에 위치시킨다. 따라서 영상의 각 화소들은 군집들의 임시 평균벡터들 중에서 가장 가까운 군집에 할당되며, 모든 화소들이 이러한 방법으로 분류된 후 군집은 새로운 군집중심이 계산되는 알고리즘이다.

분류된 영상들은 다시 영상 촬영시기와 같은 시기에 제작된 1:25,000 지형도와 비교하여 분광집단을 정보 집단으로 재분류하였다. 재분류된 클래스는 육지¹⁾, 바다²⁾, 갯벌, 습지, 호수 및 염전, 논, 나대지 등 7개의 분류 항목으로 토지피복도를 작성하였다. 작성된 토지피복도는 최종적으로 다시 3×3 중앙값 필터링(median filtering)을 수행하여 영상에서의 잡음을 제거하였다.

간석지³⁾ 지역에 대한 토지피복 변화를 분석하기 위해서는 우선적으로 조고가 비슷한 위성영상을 사용하는 것이 이상적이다. 그러나 본 연구지역을 촬영한 영상 중 조고가 비슷한 영상이 많지 않고, 특히 가장 시기가 이른 1972년 10월 31일의 위성영상은 다른 영상들에 비해 조고가 높아, 간석지가 바다로 분류되는 문제점이 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문

Table 1. Remotely sensed imageries used. 연구에 사용된 위성영상 이미지.

Acquisition Date	Path/Row	Band	Resolution (m)	Platform	Sensor
1972.10.31	125/035 125/034	4	80	Landsat-1	MSS
1984.07.30	116/035 116/034	4	80	Landsat-5	MSS
1991.10.22	116/035 116/034	7	30	Landsat-5	TM
2000.11.23	116/035 116/034	7	30	Landsat-7	ETM+
2008.09.18	116/035 116/034	7	30	Landsat-5	TM

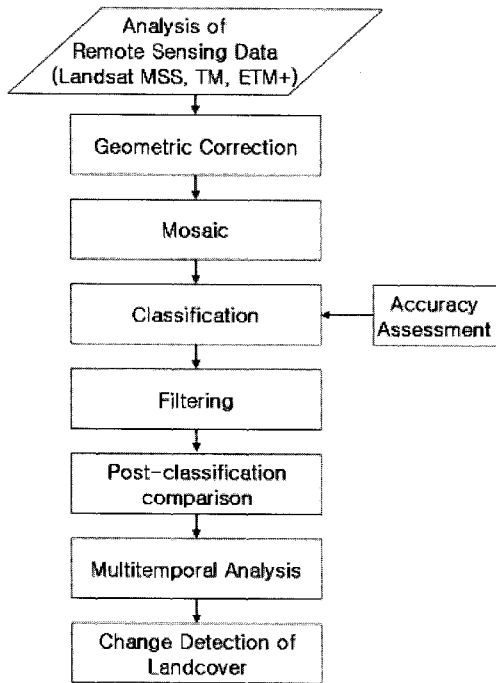


Figure 2. Flow chart of the study. 연구 흐름도.

제점을 해결하기 위해 1984년 7월 30일의 영상을 이용하여 높은 조고로 인한 간석지 면적의 변위를 제거하였다⁴⁾.

각 분류된 영상은 선분류 후비교법(post-classification comparison method)을 이용하여 변화 매트릭스(matrix)를 작성하고 이를 토대로 각 기간별(1972~1984, 1984~1991, 1991~2000, 2000~2008) 토지피복 변화를 고찰하였다. 위성영상의 분석과 통계 처리에 사용된 프로그램은 PCI Geomatica 9.1과 ArcMap 9.2, ArcView 3.2를 이용하였으며, 구체적인 연구 방법은 Figure 2와 같다.

3) 선분류 후비교법

지표환경 변화 분석 방법에는 영상의 토지피복 분류, 다중시기 영상분류, 연산, 식생지수 분석, 주성분분석, 변화벡터분석 등이 있다(Wickware and Howarth, 1981). Jensen(2004)은 변화탐지의 방법을 각각의 시간대에 독립적으로 클래스를 나누어 비교하는 방법과

다중시기 자료를 동시에 분석하는 방법으로 크게 구분하였다. 이 중 영상 간 차연산(image differencing)은 가장 보편적인 방법으로서 많은 적용연구(Green *et al.*, 1994; Maas, 1999; Song *et al.*, 2001)가 있었고, 차연산이나 비연산(ratioing)과 같이 비교적 단순한 방법들이 다른 복잡한 방법들에 비해 정확한 결과를 도출하기도 하였다(Singh, 1989).

일반적으로 차연산 기법은 적절한 임계값을 설정하는데 개인적인 주관이 가미되기 쉽고 검증되지 않은 방법으로 임계값을 설정할 가능성이 높다. 그리고 두 시기의 영상을 차연산을 통하여 처리하였을 때 다른 의미의 값이 절대적인 값으로 변하여 같은 의미로 해석되어지는 오류를 범할 수 있다. 또한 변화지역을 추출할 수는 있지만 변화 클래스를 파악할 수 없는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 위와 같은 차연산 기법의 단점을 보완하기 위해 선분류 후비교법을 사용하였다. 즉 서로 다른 시기 영상의 토지피복을 각각 분류하고, 분류된 영상을 분류 항목끼리 비교하여 변화양상, 변화면적 등을 분석하였다. 이를 통하여 각 항목들이 어떤 토지피복에서 어떤 토지피복으로 변했는지를 정량적으로 고찰하였다.

선분류 후비교법을 분석하기 위해서는 변화탐지를 수행하는 영상들의 기하학적 보정이 정확해야하며, 분류정확도가 높지 않을 경우 변화탐지의 신뢰도가 떨어질 수 있는 위험성이 있다. 따라서 본 연구에서는 분류정확도 검증을 위해 각 시기별 분류된 영상에 대해 분류 오차 행렬(error matrix)을 이용하여 정확도 검증을 실시하였다.

일반적인 선분류 후비교법은 어느 한 시기에서 또 다른 시기 사이의 변화만을 보여준다. 본 연구에서처럼 다중시기 동안의 변화 패턴을 추적하기 위해서는 선분류 후비교법에 의해서 생성된 각각의 영상을 선분류된 다음시기 영상과 재 비교를 통해 평가하여야 한다. 이러한 방법은 기존의 선분류 후비교법에 비해 현재의 토지피복이 어떤 토지피복 변화 패턴을 거쳐 형성되었는지에 대한 해답을 줄 수 있을 것으로 판단된다. Figure 3은 다중시기의 토지피복 변화 패턴을 파악하기 위해 적용된 변형된 선분류 후비교법의 개념도이다. 본 개념도를 통해 변형된 선분류 후비교법은 1972

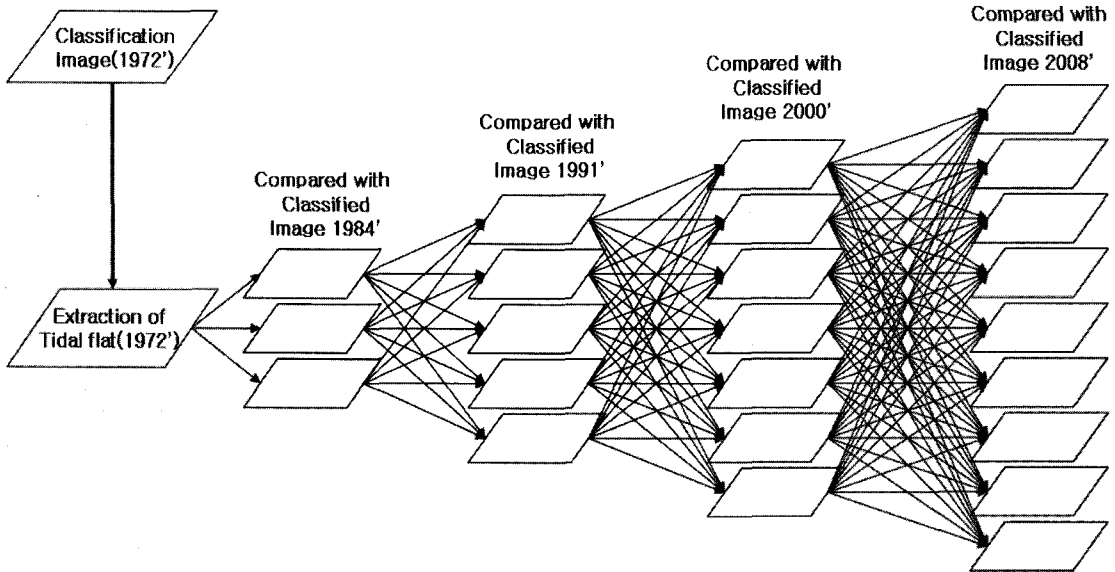


Figure 3. Schematic diagram of modified post-classification comparison method. 변형된 선분류 후비교법 개념도.

년 간석지를 기준으로 2008년까지 각 시기의 토지피복 변화 유형을 쉽게 파악할 수 있으며, 이는 각각의 토지 피복 화소에 대한 장기적인 토지피복 변화 이력을 추적할 수 있는 장점이 있다.

3. 간석지 지역의 토지피복 변화

1) 시기별 위성영상의 토지피복 분류 및 정확도 검증

토지피복 변화를 분석하기 위해서는 먼저 각 시기별 토지피복도를 작성하여야 한다. 본 연구에서는 무감독 분류 방법인 K-means 방법을 이용하여 토지피복도를 작성하였다. 분류 클래스는 식별 가능한 토지피복 유형 중 총 7가지를 선택하였다.

전체 분류영상의 화소수는 1,520×2,390 픽셀이며 분석에 사용된 영상의 면적은 3,269.0km²이다. 1972년 10월 31일 영상은 3개의 클래스로 분류되었는데, 토지피복 분류 결과를 살펴보면 육지 면적이 446.0km², 바다 면적은 2,639.7km², 갯벌 면적은 184.3km²로 나타났다. 6개의 클래스로 분류된 1984년

7월 30일 영상의 토지피복 결과를 살펴보면, 육지 면적은 446.0km², 바다 면적은 2,633.1km², 갯벌 면적은 132.1km², 습지 면적은 44.8km², 호수 및 염전 면적은 9.3km², 마지막으로 논 면적은 4.5km²로 나타났다. 1972년 영상과 비교하여 보면, 갯벌 및 바다 면적에서 약 58.6km²가 간척되어 다른 토지피복 분류 클래스로 분류되었다.

7개의 클래스로 분류된 1991년 10월 22일의 영상은 육지(446.0km²), 바다(2,638.8km²), 갯벌(120.5km²), 습지(32.7km²), 호수 및 염전(15.1km²), 논(15.4km²), 나대지(1.1km²)로 분류되었는데, 1984년 영상에 비해 약 5.7km²의 면적이 간척되었음을 분석할 수 있었다. 2000년 11월 23일 영상은 육지(446.0km²), 바다(2,631.4km²), 갯벌(113.6km²), 습지(25.4km²), 호수 및 염전(11.3km²), 논(38.7km²), 나대지(3.0km²)로 분류되었는데, 1991년 영상에 비해 약 14.1km²의 면적이 간척되었다. 2008년 9월 18일 영상은 육지(446.0km²), 바다(2,653.0km²), 갯벌(92.0km²), 습지(8.7km²), 호수 및 염전(15.0km²), 논(43.1km²), 나대지(11.7km²)로 분류되었는데, 2000년 영상에 비해 약 0.1km²의 면적이 변하였는데, 이것은 본 연구지역에서 2000년 이후 대규모 간척사업이 더 이상 진행되지

않았음을 의미한다. 전체적으로 1972년에서 2008년 사이에 갯벌 및 바다의 약 78.5km²가 간척으로 인해 사라진 것으로 분석되었다.

각 시기별 토지피복 분류는 Figure 4와 같다. 1972년 영상에서는 갯벌이 태안반도 전 지역에 고르게 분

포하고 있었지만, 2008년 영상을 보면 가로림만의 갯벌과, 소원갯벌, 근흥갯벌, 황도갯벌을 제외하고 대부분의 갯벌들이 사라진 것을 파악할 수 있었다. 이러한 결과는 태안반도 지역의 바다 및 갯벌지역에서 이루어진 간척의 역사를 대변한다고 할 수 있겠다.

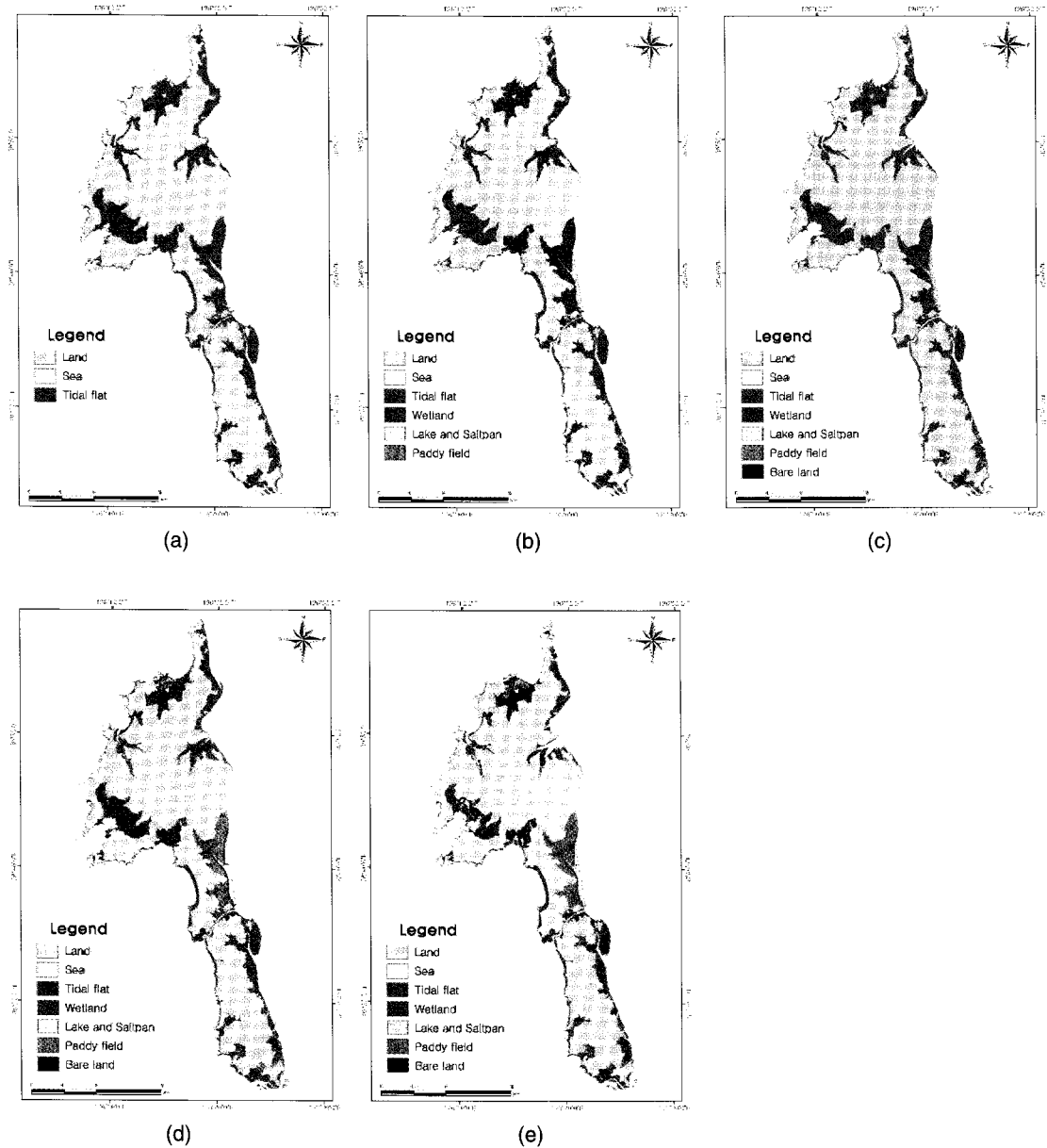


Figure. 4. Land-cover map. (a) Landsat-1 MSS(1972.10.31), (b) Landsat-5 MSS(1984.07.30), (c) Landsat-5 TM(1991.10.22), (d) Landsat-7 ETM+(2000.11.23), (e) Landsat-5 TM(2008.09.18). 토지피복도.

선분류 후비교법을 통한 변화탐지를 위해서는 각 분류 항목에 대한 분류정확도가 높아야 한다. 즉 각각의 비교대상 영상의 분류정확도가 떨어진다면 변화탐지 결과의 신뢰도를 떨어뜨릴 수 있다. 따라서 본 연구에서는 분류의 정확도 검증을 위해 분류 오차 행렬을 이용하여 정확도 검증을 하였다. 분류 오차는 객관적으로 타당하게 생성되어야 하는데, 감독분류에서처럼 훈련집단(training set)으로 사용한 영역을 그대로 분류 오차표 생성에 사용하면 전체 정확도가 과대평가된다. 또한 검증자료 표본 추출 시 무작위가 아닌 분석가의 주관에 관여해도 정확도를 과장되게 하는 경향이 있다. 이러한 단점을 제거하기 위해 본 연구에서는 검증 자료를 이용하여 정확도를 평가하였다. 검증자료는 2008년 현장조사를 통해 60개의 지점을 선정하였으며, 각 연도별로 무감독분류된 영상에서 총 60개 화소를

를 사용하여 검증하였다.

2008년 토지피복도의 검증에 사용된 화소는 먼저, 바다 11개, 갯벌 11개, 습지 6개, 호수 및 염전 10개, 논 14개, 나대지 7개 화소이다. 전체적으로 1972년 해안선 기준으로 육지부분이 마스크 처리가 된 나머지 지역에 대해 골고루 분포하고 균일한 지역 분광특성을 갖는 지역을 선택하였다. 다른 4개 연도의 검증화소들은 2008년도에 사용된 화소들의 지리적 좌표를 그대로 사용하였으며, 토지피복 검증을 위한 지상자료는 위성 주사 시기와 가까운 시기에 제작된 지형도를 이용하였다.

2008년 9월 18일 영상의 전체정확도는 95.0%를 나타내었고, 분류방법의 정확도를 평가하는 카파값(Kappa value)은 0.939의 값을 나타내서 매우 정확한 분류결과를 얻을 수 있었다. 2008년 영상을 참조자료

Table 2. Accuracy assessment: User's accuracy (%). 정확도평가: 사용자정확도.

class \ year	1972	1984	1991	2000	2008
Land	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sea	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Tidal flat	100.00	89.47	92.31	90.91	90.91
Wetland	0.00	94.44	90.00	87.50	85.71
Land and saltpan	0.00	80.00	92.31	100.00	100.00
Paddy field	0.00	83.33	100.00	100.00	100.00
Bare land	0.00	0.00	75.00	100.00	85.71

Table 3. Accuracy assessment: Producer's accuracy (%). 정확도평가: 제작자정확도.

class \ year	1972	1984	1991	2000	2008
Land	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sea	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Tidal flat	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Wetland	0.00	85.00	81.82	87.50	85.71
Land and saltpan	0.00	80.00	100.00	100.00	100.00
Paddy field	0.00	83.33	80.00	100.00	93.33
Bare land	0.00	0.00	100.00	80.00	85.71

Table 4. Land-cover change detection matrix between 1972 and 1984.
1972~1984년 사이의 토지피복 변화탐지 매트릭스.

(Unit: ha)

1972 \ 1984	Land	Sea	Tidal flat	Wetland	Lake & saltpan	Paddy field	Bare land
Land	-	16.9	-	-	-	-	-
Sea	22.8	-	-	-	692.1	-	-
Tidal flat	-	52.8	-	4,477.7	240.0	445.5	-

Table 5. Land-cover change detection matrix between 1984 and 1991.
1984~1991년 사이의 토지피복 변화탐지 매트릭스.

(Unit: ha)

1984 \ 1991	Land	Sea	Tidal flat	Wetland	Lake & saltpan	Paddy field	Bare land
Land	-	-	-	-	-	-	-
Sea	16.9	-	390.8	6.3	5.2	1.5	-
Tidal flat	-	1,000.8	-	253.0	188.9	107.8	26.0
Wetland	-	-	19.3	-	473.0	971.4	84.7
Lake & saltpan	-	-	-	76.9	-	9.5	1.4

로 하여 분류정확도를 검증한 결과, 각 영상의 전체정확도는 1972년 100.0%, 1984년 91.67%, 1991년 93.33%, 2000년 96.67%로 나타났고, 카파값은 1972년 1.000, 1984년 0.889, 1991년 0.918, 2000년 0.959로 나타나 전체적으로 비교적 정확한 분류 결과를 얻을 수 있었다. 즉, 전체정확도 면에서 각 연도별 분류된 영상이 90% 이상의 정확도를 보여 전체적으로 분류 결과를 신뢰할 수 있었다.

그러나 제작자 정확도와 사용자 정확도를 보면 습지 클래스와 나대지 클래스가 다른 클래스에 비해 상대적으로 낮은 정확도를 나타내고 있다(Table 2, 3). 이는 갯벌을 간척 후 염분을 제거하는 과정과 농경지로의 개간 과정에서 나타나는 습지와 나대지의 분류 오류에 기인하는 것으로 판단된다.

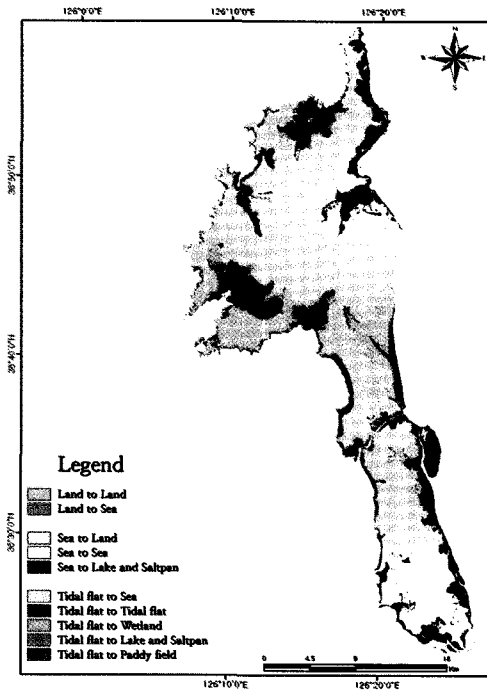
2) 선분류 후비교법을 이용한 토지피복 변화

본 연구에서는 태안반도에서 간척에 따른 갯벌의 토지피복 변화 양상을 시계열분석하기 위해 위해 선분류 후비교법을 통해 각 시기별(1972~1984년, 1984~1991

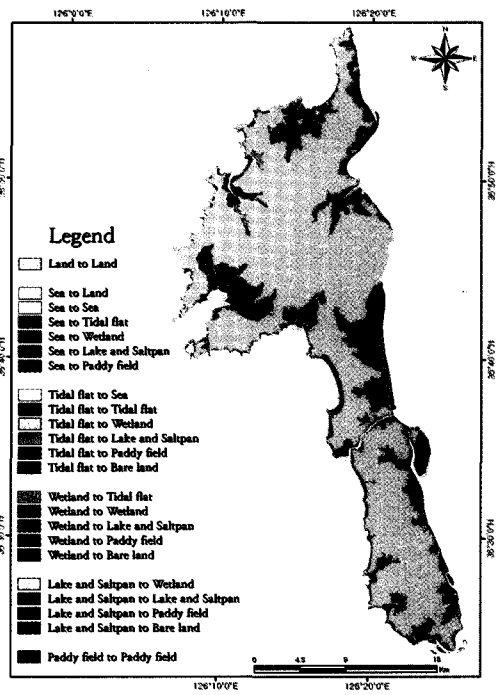
년, 1991~2000년, 2000~2008년) 영상을 분석하였다. 각 시기별 변화탐지 결과는 Figure 5와 같다.

먼저 1972년에서 1984년 사이의 토지피복 변화를 살펴보면, 바다의 경우 호수 및 염전으로의 변화(692.1ha)가 가장 크게 일어났으며, 갯벌은 습지(4,477.7ha), 논(445.5ha), 호수 및 염전(240.0ha)의 순으로 변화가 크게 일어났음을 파악할 수 있었다. 이 시기 동안 토지피복 변화가 가장 큰 클래스는 갯벌에서 습지로의 변화인 것으로 나타났다(Table 4). 육지에서 바다로의 변화와 바다에서 육지로의 변화는 마스크처리를 하기 위한 해안선 추출에서 발생한 몇몇 섬지역의 누락에 의한 오류로 판단되며, 갯벌에서 바다로의 변화는 조석차에 기인하는 것으로 사료된다.

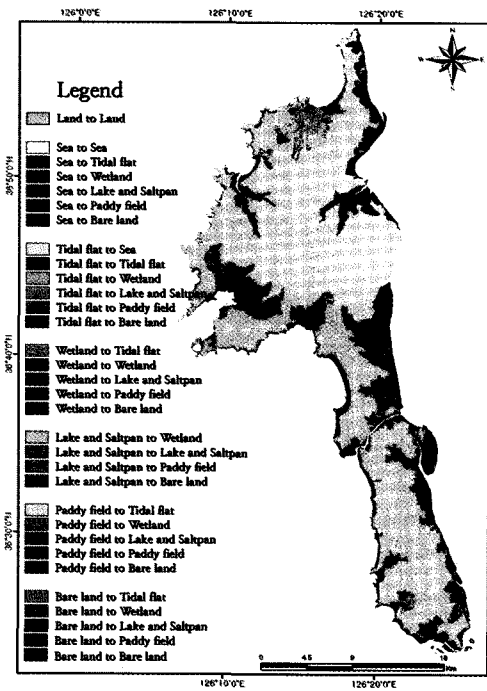
1984년에서 1991년 사이의 토지피복 변화를 살펴보면 바다의 경우 갯벌, 습지, 호수 및 염전, 논의 순으로 변화가 발생하였으며 그 면적은 각각 390.8ha, 6.3ha, 5.2ha, 1.5ha이었다. 갯벌은 바다(1,000.8ha), 습지(253.0ha), 호수 및 염전(188.9ha), 논(107.8ha), 나대지(26.0ha)의 순으로 변화가 나타났고, 습지는 논(971.4ha), 호수 및 염전(473.0ha), 나대지(84.7ha), 갯



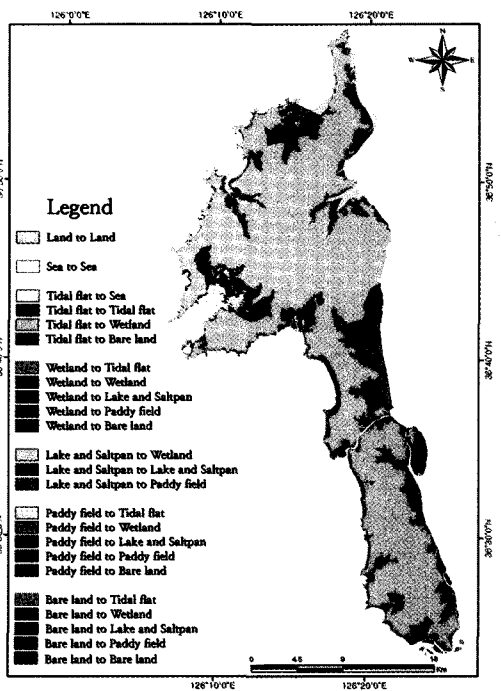
(a) 1972~1984



(b) 1984~1991



(c) 1991~2000



(d) 2000~2008

Figure 5. Land-cover change detection using post-classification comparison.
 선분류 후비교법을 이용한 토지피복 변화탐지.

별(19.3ha)의 순으로 발생하였다. 호수 및 염전은 습지(76.9ha), 논(9.5), 나대지(1.4ha) 순으로 변화가 발생하였다. 이 시기 동안 토지피복 변화가 가장 큰 클래스는 습지에서 논으로의 변화인 것으로 나타났다(Table 5). 바다에서 육지로의 변화는 앞에서 언급했듯이 마스킹처리 중에 발생한 몇몇 섬의 누락에 의한 오류이며, 갯벌에서 바다로의 변화는 조석차에 의한 변화인 것으로 판단된다.

1991년에서 2000년 사이의 토지피복 변화를 살펴보면 바다의 경우 습지(37.3ha), 호수 및 염전(9.5ha), 나대지(6.5ha), 논(1.1ha)의 순으로 토지피복 변화가 일어났다. 갯벌의 경우 습지(973.9ha), 호수 및 염전(183.1ha), 나대지(169.7ha), 논(46.7ha) 순으로, 습지의 경우 논(1,932.8ha), 호수 및 염전(108.2ha), 나대지

(51.2ha) 순으로, 호수 및 염전의 경우 습지(338.1ha), 논(287.1ha), 나대지(62.2ha)순으로, 논은 습지(6.0ha), 호수 및 염전(1.4ha), 나대지(0.9ha) 순으로, 나대지의 경우 논(80.2ha), 습지(10.7ha), 호수 및 염전(1.9ha) 순으로 변화하였음을 파악할 수 있었다. 이 시기 동안의 토지피복 변화가 가장 큰 클래스는 습지에서 논으로 변화인 것으로 나타났다(Table 6).

2000년에서 2008년 사이의 갯벌의 토지피복 변화를 살펴보면, 갯벌은 습지(2.1ha), 나대지(1.9ha) 등으로 변화였다. 또한 습지의 경우 논(916.6ha), 나대지(799.0ha), 호수 및 염전(274.1ha) 순으로 변화하였으며, 호수 및 염전의 경우 습지(68.2ha), 논(21.5ha) 순으로, 논은 습지(232.4ha), 호수 및 염전(176.3ha), 나대지(115.1ha) 순으로, 나대지의 경우 습지(23.0ha), 논

Table 6. Land-cover change detection matrix between 1991 and 2000.
1991~2000년 사이의 토지피복 변화탐지 매트릭스,

(Unit: ha)

1991 \ 2000	Land	Sea	Tidal flat	Wetland	Lake & saltpan	Paddy field	Bare land
Land	-	-	-	-	-	-	-
Sea	-	-	722.8	37.3	9.5	1.1	6.5
Tidal flat	-	39.4	-	973.9	183.1	46.7	169.7
Wetland	-	-	1.5	-	108.2	1,932.8	51.2
Lake & saltpan	-	-	-	338.1	-	287.1	60.2
Paddy filed	-	-	1.4	6.0	1.4	-	0.9
Bare land	-	-	4.6	10.7	1.9	80.2	-

Table 7. Land-cover change detection matrix between 2000 and 2008.
2000~2008년 사이의 토지피복 변화탐지 매트릭스,

(Unit: ha)

2000 \ 2008	Land	Sea	Tidal flat	Wetland	Lake & saltpan	Paddy field	Bare land
Land	-	-	-	-	-	-	-
Sea	-	-	-	-	-	-	-
Tidal flat	-	2,157.6	-	2.1	-	-	1.9
Wetland	-	-	1.8	-	274.1	916.6	799.0
Lake & saltpan	-	-	-	68.2	-	21.5	-
Paddy filed	-	-	1.3	232.4	176.3	-	115.1
Bare land	-	-	0.4	23.0	11.3	18.5	-

(18.5ha), 호수 및 염전(11.3ha) 순으로 토지피복이 변화하였음을 알 수 있었다. 이 시기 동안의 토지피복 변화가 가장 큰 클래스는 습지에서 논으로의 변화인 것으로 나타났다(Table 7).

전 시기 동안의 토지피복 변화가 가장 큰 클래스는 1972년에서 1984년을 제외하고 습지에서 논으로의 변화가 가장 크다. 1972년에서 1984년에 가장 변화가 컸던 클래스가 갯벌에서 습지로의 변화였던 것을 놓고 본다면 본 연구지역에서 토지피복 변화는 갯벌에서 습지, 습지에서 논으로의 변화가 일어난 것으로 추정된다.

3) 변형된 선분류 후비교법을 이용한 토지피복 변화 추적

1972년, 1984년, 1991년, 2000년, 2008년 등 총 5시기의 영상을 이용하여 변형된 선분류 후비교법을 통하여 분석한 결과, 토지피복 변화의 패턴은 총 241개의 경우의 수(code)로 분류되었다. 이 중 전 시기 동안의 변화 패턴이 육역과 관련되거나 변화의 범위가 바다 혹은 갯벌인 경우는 총 21개로 나타났다. 육역의 경우 1972년 해안선 기준으로 마스킹처리 하였으므로 결국 변화가 없었다는 것을 의미하고, 바다와 갯벌의 범위 내에서 변화가 발생하였다는 것은 조석 차에 의한 변화로 분석될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 코드값들을 전처리 과정에서 발생한 널(null)값 및 자연적인 변화에 의한 값으로 판단하고 토지피복 변화 패턴의 분석에서 제외하였다. 21개의 code 값들을 제외한 220개의 code 값과 각각의 면적 및 비율은 Table 8과 같다.

변형된 선분류 후비교법을 통한 토지피복 변화 패턴 결과를 살펴보면, 동일한 패턴으로 토지피복 변화가 발생한 지역 중 100ha 이상의 면적을 보여주는 code 값은 총 12개로 나타났는데, 이러한 패턴은 변화가 발생하였던 지역의 면적 중 약 75.30%를 차지한다.

토지피복 변화 패턴 중 가장 많은 면적을 차지하는 코드값은 34466으로, 1972년에서 2008년 사이 1,803.4ha(22.90%)의 지역이 이러한 패턴으로 변화하였다. 즉 1972년에 갯벌이었던 지역이 1984년에 간척

으로 인해 습지로 변화하였다. 그 후 1991년까지 습지 상태를 유지하다 2000년에는 논으로 변한 후, 2008년까지 논으로 유지되는 지역이다. 본 토지피복 변화 패턴이 나타나고 있는 지역은 서산 B지구와 고남면 고남리·장곡리·누동리, 안면읍 신야리·정당리·창기리, 남면 당암리, 소원면 송현리·소근리, 원북면 방갈리·대기리, 태안읍 삭선리·산후리·어은리·도내리 등인 것으로 나타났다.

두 번째로 많은 면적의 토지피복 변화 패턴을 보여주는 코드값은 34666으로, 1972년에서 2008년 사이 918.72ha(11.67%)의 지역이 이러한 패턴으로 나타났다. 이 코드값의 토지피복 변화 패턴은 1972년에 갯벌이었던 지역이 1984년에 습지로 변화하였고, 다시 1991년에는 논으로 변한 후 2000년 및 2008년에도 논으로 이용되고 있는 지역이다. 본 토지피복 변화 패턴이 나타나고 있는 지역은 앞서 코드값 34466의 패턴이 나타나고 있는 지역의 내륙 쪽으로, 간척을 위해 제방을 축조한 후 내륙 쪽, 즉 바다에서 먼 곳부터 경작지로 변화하였음을 파악할 수 있었다. 그러나 서산 B지구의 경우 이러한 경향성을 띠지는 않고 반대로 바다 쪽부터 경작지로 변한 것으로 나타나고 있다. 이러한 결과가 나타난 이유에 대해서는 추후 보다 깊은 연구가 필요할 것으로 보인다.

세 번째로 많은 토지피복 변화 패턴은 코드값 34446으로, 686.16ha(8.71%)의 지역이 이러한 패턴으로 변화하였다. 이 코드값의 토지피복 변화 패턴은 1972년에 갯벌이었던 지역이 1984년에 습지로 변화하였고, 2000년까지 습지로 유지되다 2008년에는 논으로 변한 지역들이다. 이러한 토지피복 변화 패턴이 나타나는 지역은 앞서 언급한 코드값 34466, 34666의 패턴이 나타나고 있는 지역의 바다쪽으로 나타났다. 두 번째 토지피복 변화 패턴과 마찬가지로 서산 B지구의 경우 나머지 지역과 다른 경향을 보여주고 있었는데 주로 갯벌과 육역의 인접부에 위치한 지역에서 이러한 토지피복 변화의 패턴이 나타났다.

상위 3번째까지의 토지피복 변화 패턴은 서산 B지구를 제외하면 뚜렷한 경향성을 보여주고 있다. 다시 말해 갯벌에서 간척이 이루어지면 갯벌의 토지피복이 우선 습지로 변한 후 다시 논으로 변하는 경향성을 보

Table 8. Result of land-cover change with modified post-classification comparison method.
 변형된 선분류 후비교법에 의한 토지피복 변화 결과.

code*	area (ha)	rate (%)	code	area (ha)	rate (%)	code	area (ha)	rate (%)	code	area (ha)	rate (%)	code	area (ha)	rate (%)
22244**	16.2	0.21	32347	0.09	0.00	33473	0.36	0.00	34344	0.63	0.01	34745	1.08	0.01
22245	1.62	0.02	32554	0.27	0.00	33474	0.99	0.01	34347	0.36	0.00	34746	3.15	0.04
22247	1.71	0.02	32555	0.45	0.01	33476	0.9	0.01	34377	0.18	0.00	34747	0.45	0.01
22254	0.27	0.00	33244	6.3	0.08	33477	18.45	0.23	34433	0.09	0.00	34764	2.61	0.03
22255	0.27	0.00	33245	5.76	0.07	33544	39.51	0.50	34444	137.97	1.75	34765	0.27	0.00
22277	0.81	0.01	33246	0.45	0.01	33545	8.82	0.11	34445	45.81	0.58	34766	73.08	0.93
22344	2.52	0.03	33247	5.22	0.07	33546	11.88	0.15	34446	686.16	8.71	34767	2.07	0.03
22345	0.54	0.01	33255	8.91	0.11	33547	24.03	0.31	34447	104.4	1.33	34775	0.36	0.00
22347	0.72	0.01	33265	0.81	0.01	33554	6.3	0.08	34454	7.38	0.09	34776	0.99	0.01
22355	0.81	0.01	33267	0.27	0.00	33555	59.85	0.76	34455	23.13	0.29	34777	0.27	0.00
22377	0.18	0.00	33274	0.9	0.01	33564	5.94	0.08	34456	11.07	0.14	35444	9.9	0.13
22444	3.96	0.05	33275	0.27	0.00	33565	5.67	0.07	34464	30.96	0.39	35445	4.59	0.06
22464	0.18	0.00	33277	4.5	0.06	33566	0.63	0.01	34465	16.65	0.21	35446	10.44	0.13
22474	0.99	0.01	33334	2.07	0.03	33567	0.18	0.00	34466	1,803.42	22.90	35447	15.93	0.20
22475	0.72	0.01	33337	1.8	0.02	33574	5.13	0.07	34467	34.83	0.44	35454	3.15	0.04
22477	0.45	0.01	33343	1.08	0.01	33575	0.36	0.00	34474	1.26	0.02	35455	3.87	0.05
22544	1.62	0.02	33344	181.71	2.31	33576	3.69	0.05	34475	0.09	0.00	35456	0.09	0.00
22547	0.09	0.00	33345	155.79	1.98	33577	16.92	0.21	34476	9.54	0.12	35464	1.17	0.01
22574	0.81	0.01	33346	69.03	0.88	33633	0.81	0.01	34477	16.56	0.21	35465	3.78	0.05
22575	0.18	0.00	33347	561.24	7.13	33644	0.63	0.01	34544	60.84	0.77	35466	10.44	0.13
22577	1.8	0.02	33354	21.06	0.27	33645	0.18	0.00	34545	18.45	0.23	35467	0.72	0.01
22664	0.81	0.01	33355	161.19	2.05	33646	0.36	0.00	34546	69.12	0.88	35477	0.9	0.01
22665	0.18	0.00	33364	9.18	0.12	33647	0.27	0.00	34547	31.32	0.40	35544	18.18	0.23
22667	0.54	0.01	33365	25.83	0.33	33654	0.09	0.00	34554	11.7	0.15	35545	3.24	0.04
25444	1.17	0.01	33366	9.18	0.12	33655	0.9	0.01	34555	49.5	0.63	35546	21.69	0.28
25445	3.15	0.04	33367	2.52	0.03	33663	0.45	0.01	34556	8.91	0.11	35547	23.13	0.29
25446	1.08	0.01	33374	12.96	0.16	33664	21.78	0.28	34564	90.45	1.15	35554	7.11	0.09
25454	0.36	0.00	33375	9.36	0.12	33665	46.98	0.60	34565	28.44	0.36	35555	20.25	0.26
25455	1.62	0.02	33376	1.71	0.02	33666	19.53	0.25	34566	66.51	0.84	35566	0.36	0.00
25464	2.34	0.03	33377	145.35	1.85	33667	14.94	0.19	34567	22.32	0.28	35564	32.13	0.41
25465	0.81	0.01	33433	1.44	0.02	33677	0.9	0.01	34576	0.54	0.01	35565	12.33	0.16
25466	1.35	0.02	33443	0.72	0.01	33733	4.5	0.06	34577	14.94	0.19	35566	13.14	0.17
25544	2.34	0.03	33444	61.38	0.78	33737	0.09	0.00	34633	0.54	0.01	35567	0.18	0.00
25545	2.97	0.04	33445	20.52	0.26	33744	0.36	0.00	34644	0.45	0.01	35577	15.84	0.20
25546	0.9	0.01	33446	40.05	0.51	33745	0.18	0.00	34645	1.44	0.02	35665	0.18	0.00
25554	6.3	0.08	33447	24.48	0.31	33747	5.04	0.06	34646	2.16	0.03	35666	5.67	0.07
25555	654.84	8.32	33454	3.6	0.05	33754	0.63	0.01	34647	0.54	0.01	35667	0.18	0.00
25556	0.27	0.00	33455	53.1	0.67	33755	1.26	0.02	34655	0.45	0.01	35746	0.09	0.00
25564	3.78	0.05	33456	0.81	0.01	33764	0.09	0.00	34663	0.45	0.01	35766	0.18	0.00
25565	5.31	0.07	33463	0.36	0.00	33766	0.27	0.00	34664	18.09	0.23	35776	1.17	0.01
25566	0.09	0.00	33464	3.6	0.05	33767	1.62	0.02	34665	9.81	0.12	36664	9.27	0.12
25665	0.09	0.00	33465	15.48	0.20	33777	11.97	0.15	34666	918.72	11.67	36665	3.69	0.05
25666	3.33	0.04	33466	4.5	0.06	34332	1.26	0.02	34667	18.72	0.24	36666	418.77	5.32
32344	0.18	0.00	33467	2.25	0.03	34333	16.83	0.21	34744	0.36	0.00	36667	13.77	0.17

* Code was used for analysis consists of a total of five number. In order to each code means land-cover in 1972, 1984, 1991, 2000, 2008.

** Number was used for code means post-classification land-cover; 1. Land, 2. Sea, 3. Tidal flat, 4. Wetland, 5. Lake and saltpan, 6. Paddy field, 7. Bare land.

*** Shaded cell represents an area more than 100ha that has occurred land-cover change in same pattern.

여주며, 습지에서 논으로 변하는 시기와 장소 즉 농경지를 개간하는 시기와 장소는 내륙에서 우선적으로 개간이 이루어진 후 바다 쪽으로 이동하여 개간되고 있음을 의미한다.

네 번째로 많은 토지피복 변화 패턴을 보여주는 코드값은 25555로, 654.84ha(8.32%)의 지역이 이러한 패턴으로 변화하였다. 이 코드값의 토지피복 변화 패턴은 1972년에 바다였던 지역이 1984년 사이에 호수 또는 염전으로 변하여 현재에 이르고 있는 토지피복 변화 클래스이다. 이러한 패턴이 나타나는 지역은 서산 B지구와 태안읍 도내리에 위치한 호수 및 저수지이다. 이들 지역은 간척사업을 진행함과 동시에 대하천이 없는 태안반도 지역에서 농업용수를 공급하기 위해 설치한 부남호와 솔감저수지인 것으로 나타났다.

토지피복 변화 패턴 중 다섯 번째로 많이 나타나는 코드값은 33347로, 561.24ha(7.13%)의 면적이 이러한 패턴으로 변화하였다. 이 코드값의 토지피복 변화 패턴은 1972년에 갯벌이었던 지역이 최소한 1991년까지 갯벌로 유지되다가 2000년에 습지로 변한 후, 2008년에 나대지로 변한 지역들이다. 이러한 패턴이 나타나는 지역은 대부분 과거 태안군 이원면과 원북면 사이에 발달한 이원갯벌이 있었던 지역으로 1990년대 후반 이원방조제 건설에 의해 토지피복 변화가 발생하였다. 특히, 2009년 현장답사를 통해 이 지역의 이러한 토지피복 변화는 간척을 통해 갯벌에서 농경지로의 전이가 이루어지고 있는 중간 단계임을 파악할 수 있었다.

여섯 번째로 많이 나타나는 패턴은 코드값 36666인 것으로 나타났으며, 그 면적은 418.77ha(5.32%)이다. 이 코드값의 토지피복 변화 패턴은 1972년에 갯벌이었던 지역이 1972년에서 1984년 사이에 인위적인 요인에 의해 논으로 변화였고, 2008년 현재까지 이르고 있음을 의미한다. 이러한 패턴이 나타나는 지역은 태안반도 전역의 내륙 깊숙이 발달한 소규모 만입지인 것으로 분석되었다. 즉 평야의 발달이 미약한 태안반도 지역에서 곡물의 자급을 위해 이른 시기부터 갯벌을 간척하여 농경지로 이용되던 지역들이 2008년 현재까지도 농경지로 이용되고 있음을 의미한다.

일곱 번째로 많은 토지피복 변화 패턴은 코드값 33344로, 181.71ha(2.31%)의 면적에 해당하는 지역이

다. 이 코드값의 토지피복 변화 패턴은 1972년부터 1991년까지 갯벌이었던 지역이 2000년에 습지로 변해 현재와 같은 토지피복 유형을 유지하는 지역들이다. 이러한 패턴이 나타나는 지역은 태안군 이원면과 원북면 사이의 이원갯벌에서 간척사업이 시행된 이원지구이다. 이러한 습지는 호수 내부에 발달한 습지로 아직 개간이 되지 않아 습지 상태로 남아있는 것으로 사료된다.

여덟 번째로 많은 토지피복 변화 패턴은 코드값 33355로, 161.19ha(2.05%)의 지역이 동일한 패턴으로 변화하였다. 이 코드값의 토지피복 변화 패턴은 1972년부터 1991년까지 갯벌이었던 지역이 2000년에 호수 또는 염전으로 변해 2008년 현재도 같은 토지피복 유형으로 분류된 지역들이다. 이 패턴이 주로 나타나는 지역은 이원지구이며, 앞서 네 번째 패턴에서 설명한 것처럼 농업용수 확보를 위한 인공호수 축조로 인한 토지피복 변화로 파악되었다.

아홉 번째로 많은 토지피복 변화 패턴은 코드값 33345로, 155.79ha(1.98%)의 지역이 동일한 패턴으로 변화하였다. 이 코드값의 토지피복 변화 패턴은 1972년부터 1991년까지 갯벌이었던 지역이 2000년에 습지로 변화하였다가 2008년에 호수 또는 염전으로 변한 지역들이다. 여덟 번째 패턴에서 설명한 것처럼 농업용수 확보를 위한 저수지 축조에 따른 토지피복 변화이며, 여덟 번째 패턴에서 축조된 호수보다 늦은 시기의 호수로 보여 진다. 이러한 패턴이 주로 나타나는 지역 또한 이원지구이다.

열 번째로 많은 토지피복 변화 패턴은 코드값 33377로, 145.35ha(1.85%)의 지역이 동일한 패턴으로 변화하였다. 이 코드값의 토지피복 변화 패턴은 1972년부터 1991년까지 갯벌이었던 지역이 2000년에 나대지로 변한 후, 2008년 현재에 이른 지역들이다. 이 패턴 또한 이원지구에서 주로 나타난다.

열한 번째로 많은 토지피복 변화 패턴은 코드값 34444로, 137.97ha(1.75%)의 지역이 동일한 패턴으로 변화하였다. 이 코드값의 토지피복 변화 패턴은 1972년에 갯벌이었던 지역이 1984년에 습지로 변한 후, 2008년 현재까지 이르고 있는 지역들이다. 이러한 패턴이 나타나고 있는 지역은 태안반도 전역의 간척지

주변지역으로 주로 띠모양으로 나타나고 있다. 형태상으로 보아 간척지 주변의 수로인 것으로 판단된다.

변화 패턴이 100ha 이상으로 나타나는 지역 중 마지막으로 많은 토지피복 변화 패턴은 코드값 34447로, 그 면적이 104,40ha(1.33%)이다. 이 코드값의 토지피복 변화 패턴은 1972년에 갯벌이었던 지역이 1984년에 습지로 변화하였다. 그 후 2000년까지 습지의 모습을 나타내다가 2008년에 나대지로 변한 지역들이다. 이러한 패턴이 나타나고 있는 지역은 안면읍 중장리, 소원면 소원리, 원북면 방갈리 등으로 주로 습지를 개간하거나 수로정비, 제방축조 등에 의해 변화가 발생한 것으로 판단된다.

일반적으로 토지피복 변화 패턴을 면적 순으로만 분석한다면 특정한 지역의 토지피복 변화 패턴이 전체 지역을 대표할 수 있는 오류가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 최종적으로 면적과 상관없이 모든 토지피복 패턴을 이용하여 전체 지역에 대한 패턴의 일반화를 시도하였다. 그 결과, 간척에 따른 간척지의 토지피복 변화 패턴은 갯벌 → 습지, 갯벌 → 호수 및 염전, 갯벌 → 습지·호수 및 염전, 갯벌 → 습지·호수 및 염전 → 논, 갯벌 → 습지·호수 및 염전 → 나대지 → 논, 갯벌 → 습지·호수 및 염전 → 논 → 나대지 등으로 나타났고, 이례적으로 바다 → 습지, 호수 및 염전 → 논으로의 패턴도 나타났다⁵⁾. 이를 바탕으로 간척에 따른 간척지의 토지피복 변화 패턴을 살펴보면 시기적으로 차이는 보이지만, 일반적으로 갯벌 → 습지·호수 및 염전 → 나대지 → 논 → 나대지로 변화하였음을 파악 할 수 있었다.

4. 결론

저구릉성 산지로 이루어진 태안반도 지역은 평야의 발달이 미약한 반면, 리아스식 해안으로 이루어진 해안은 수많은 소규모 만입지를 형성하고 있어 농지확보를 위한 간척의 필요성과 간척 성공의 가능성을 동시에 지니고 있는 지역이다. 이러한 태안반도 지역은 소규모 만입지를 중심으로 과거부터 염전이나 농지 개간

을 위한 간척이 이루어져 왔으며, 현대에 들어서 토목기술의 발달은 규모가 큰 만입지까지 간척을 가능하게 하였다. 이러한 간척으로 형성된 태안반도의 농경지 대부분은 과거 갯벌지역이었을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 간척으로 형성된 농경지들이 어떤 토지피복 변화를 거쳐 현재에 이르렀는지를 분석하기 위해 1972년에서 2008년 사이에 획득된 5시기의 위성영상을 이용하여 변형된 선분류 후비교법을 사용하였다. 이를 통하여 태안반도 간척지에 대한 토지피복 변화 및 토지피복 변화 패턴에 대한 다중시기 분석을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 선분류 후비교법을 적용하기 위해서는 각 영상의 토지피복 분류에 있어서 일정 정도의 분류정확도를 유지해야 한다. 따라서 현장조사를 통해 확인된 60개 지점을 이용하여 2008년 9월 18일 분류된 토지피복 영상을 분석한 결과, 95.00%의 전체정확도가 나타났고, 카파값은 0.939이다. 2008년 영상을 참조자료로 하여 분류정확도를 검증한 결과, 각 영상의 평균 전체정확도는 1972년 100.00%, 1984년 91.67%, 1991년 93.33%, 2000년 96.67%로 나타났고, 카파값은 1972년 1.000, 1984년 0.889, 1991년 0.918, 2000년 0.959로 나타나 전체적으로 정확하게 분류되었다.

둘째, 선분류 후비교법을 이용하여 시기별 토지피복 변화를 살펴본 결과, 전 시기 동안의 토지피복 변화가 가장 큰 클래스는 1972년에서 1984년을 제외하고 습지에서 논으로의 변화가 가장 큰 것으로 나타났다. 1972년에서 1984년에 가장 변화가 컸던 클래스가 갯벌에서 습지로의 변화였던 것을 놓고 본다면 본 연구 지역에서 토지피복 변화는 갯벌에서 습지, 습지에서 논으로의 변화가 일어난 것으로 추정된다.

셋째, 기존 선분류 후비교법은 어느 한 시기에서 또 다른 시기 사이의 변화만을 보여준다는 단점이 있어서 본 연구에서는 다중시기 동안의 변화 패턴을 분석하기 위해 변형된 선분류 후비교법을 이용하였다. 그 결과 다중시기 동안의 특정 토지피복 변화 패턴을 확인할 수 있었다. 즉, 변형된 선분류 후비교법을 이용하여 토지피복 변화의 패턴은 갯벌 → 습지, 갯벌 → 호수 및 염전, 갯벌 → 습지·호수 및 염전, 갯벌 → 습지·호수 및 염전 → 논, 갯벌 → 습지·호수 및 염전 → 나대

지 → 논, 갯벌 → 습지 · 호수 및 염전 → 논 → 나대지 등으로 나타났고, 이례적으로 바다 → 습지, 호수 및 염전 → 논으로의 패턴도 나타났다. 이를 바탕으로 간척에 따른 간석지의 토지피복 변화 패턴을 살펴보면, 갯벌 → 습지 · 호수 및 염전 → 나대지 → 논 → 나대지로 변화하였음을 분석할 수 있었다.

이상의 연구결과를 통하여 본 연구에서는 인위적 해안선 변화에 따른 태안반도의 장기간 토지피복 변화 패턴을 평가하였다. 태안반도는 대소의 만입지에 대해 조선시대 이전부터 간척이 이루어졌고, 이러한 간척은 태안반도 지역의 해안선 및 육지면적 뿐만 아니라 연안역의 퇴적환경 및 그곳에 거주하는 지역주민들의 생활패턴에도 영향을 미쳤다. 간척을 한 간석지는 염분이 포함되어 있어 간척 후 바로 농경지로 이용할 수 있는 것이 아니라, 어느 정도의 시간을 두고 염분을 제거하는 시간이 필요하다. 이것은 본 연구의 결과에서도 나타나는데, 동일한 간척지 내에서도 육지 또는 바다와의 거리에 따라 간석지에서 농경지로의 변화 시간차가 발생하고 있는 것이 그 증거이다. 따라서 이러한 결과를 바탕으로 간석지에 대한 국토개발계획 수립이나, 간척지의 경제적 이용에 있어 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주

- 1) 이 논문에서 분류된 클래스 중 육지는 1972년 10월 31일 영상의 해안선 기준으로 나머지 영상을 마스크 처리한 지역을 의미한다. 즉, 1972년의 영상에서 갯벌로 분류된 후 간척되어 육지가 되었다 하더라도 본 논문에서는 육지가 아닌 다른 클래스로 분류하였다.
- 2) 이 논문에서 바다는 2008년 9월 18일 기준 교량으로 연결된 태안군 부속 도서의 경계 및 태안군 행정경계 밖의 지역을 의미한다.
- 3) 이 논문에서 사용된 간석지는 일반적인 조간대 지역을 의미하며, 갯벌은 간조시에 해수면 위에 노출되는 퇴적지형을 말한다. 또한 습지 지역은 간척 후 방조제 안쪽에 분포하는 수생식물 분포지역 및 간척지역을 의미한다.
- 4) 1972년 영상을 제외하고 나머지 4개의 영상 중 마스크 처리한 지역과 바다 지역을 제외한 면적은 1984년 7월 30일 영

상에서 190.7km², 1991년 10.22일 영상에서 184.7km², 2000년 11월 23일 영상이 192.1km², 2008년 9월 18일 영상에서 170.5km²인 것으로 나타났다. 이 중 시기적으로 가장 오래된 1984년 7월 30일 영상에서 서산 B지구 내의 호수를 제외한 면적을 간석지로 추출하여 1972년의 간석지와 통합함으로써 1984년 7월 18일 기준의 조석에 의한 1972년 10월 31일의 간석지를 추출하였다.

- 5) 2008년 토지피복에서 논으로 분류된 지역에 대해 추적한 결과 갯벌 → 습지, 호수 및 염전 → 논 패턴을 보이는 비율은 논으로 분류된 면적 43.1km² 중 97.8%를 차지하였으며, 갯벌 → 습지, 호수 및 염전 → 나대지 → 논으로 분류된 비율은 2.2%, 바다 → 습지, 호수 및 염전 → 논으로 분류된 비율은 0.2%로 나타났다.

참고문헌

- Brown, J. M. and Davies, A. G., 2010, Flood/ebb tidal asymmetry in a shallow sandy estuary and the impact on net sand transport, *Geomorphology*, 114(3), 431-439.
- Chang, J. H., 1995, *Depositional Processes in the Gomsong Bay Tidal Flat, West Coast of Korea*, Ph. D. Thesis, Seoul National University, Korea.
- Chen, S.-S., Chen, L.-F., Liu, Q.-H., Li, X., and Tan, Q., 2005, Remote sensing and GIS-based integrated analysis of coastal changes and their environmental impacts in Lingding Bay, Pearl River Estuary, South China, *Ocean & Coastal Management*, 48, 65-83.
- Choi, S. H., Chi, K. H., Lee, B. J., Choi, Y. S., Cho, M. J., and Kang, P. C., 1993, *Change Detection of Geological Environment in Nakdong River Delta Before and After the Construction of the Nakdong River Barrage Using Satellite-Based Multitemporal/Multisensor Data*, KIGAM Research Report, Korea Institute of Geology, Mining & Materials, Deajeon (한국자원연구소, 1993, 원격탐사 응용연구 -낙동강하구둑 설치전 후의 지질환경 변화연구-, 한국지질자원연구원, 대전).
- DeLaune, R. D., Baumann, R. H., and Gosselink, J. G.,

- 1983, Relationships among vertical accretion, coastal submergence, and erosion in a Louisiana Gulf coast marsh, *Journal of Sedimentary Petrology*, 53, 147-157.
- Green, K., Kempka, D., and Lackey, L., 1994, Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 60(3), 331-337.
- Hutchinson, S. E., Sklar, F. H., and Roberts, C., 1995, Short term sediment dynamics in southeastern U. S. A. Spartina marsh, *Journal of Coastal Research*, 11, 370-380.
- Jang, D. H., 2001, *A study of remote sensing and GIS techniques for improvement of land-surface environmental changes assessment: The case of Anmyeondo and Cheonsuman bay*, Ph. D. Thesis, Konkuk University, Korea.
- Jang, D. H. and Kim, J. S., 2009, Vulnerability assessment under the Sea level rise based on climate change in chungnam coastal area, *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 16(2), 1-13 (in Korean).
- Jensen, J. R., 2004, *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, 3rd Edition*, Prentice-Hall, Inc, New Jersey.
- Jo, M. H., 2005, Analyzing the spectral characteristic and detecting the change of tidal flat area in Seo Han Bay, North Korea using satellite images and GIS, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 8(2), 44-54 (in Korean).
- Jo, M. H. and Jo, W. R., 1999, Micro-landform classification and topographic property of tidal flat in Julpo-Bay using satellite image, *Journal of the Korean Society of Remote Sensing*, 15(3), 217-225 (in Korean).
- Kahng, T. G., 2004, The coastal landforms and landscapes on the west side of anmyeon island in the south Chungcheong Province, *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 11(3), 75-84 (in Korean).
- Kaiser, M. F., 2009, Environmental changes, remote sensing, and infrastructure development: The case of Egypt's East Port Said harbour, *Applied Geography*, 29, 280-288.
- Koh, C. H., 2001, *The Korean Tidal Flat: Environment, Biology and Human*, Seoul National University Press, Seoul (고철환, 2001, 한국의 갯벌: 환경, 생물 그리고 인간, 서울대학교출판부, 서울).
- Korea Hydrographic and Oceanographic Administration, 2009, *Tidal Table*, Korea Hydrographic and Oceanographic Administration, Incheon (국립해양조사원, 2009, 조석표, 국립해양조사원, 인천).
- Kwon, H. J., 1981, Coastal landforms of Taeon Peninsula and Anmyeon-do, *Journal of Education College*, Korea University, 6, 261-287 (in Korean).
- Lee., C. K., Kim, B. O., and Kim, N. Y., 2007, Investigation of shoreline change by photogrammetric method, *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System*, 15(2), 15-22 (in Korean).
- Lee, H. R. and Lee, J. B., 2005, Monitoring spatiotemporal changes of tidal flats in Go-Gunsan islands by environmental factors using satellite images, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 8(3), 34-43 (in Korean).
- Lee, M. B., Kim, N. S., and Lee, G. R., 2005, Reclamations and coastal changes with case study on Yeomju and Cheolsan in the west coast of North Korea, *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 12(3), 99-110 (in Korean).
- Li, X. D. and Michiel, C. J., 2010, Coastline change detection with satellite remote sensing for environment of the Pearl River estuary, China, *Journal of Marine Systems*, doi: 10.1016/j.jmarsys.2010.02.005.
- Mass, J. F., 1999, Monitoring land-cover changes: A comparison of change detection techniques, *International Journal of Remote Sensing*, 20(1), 139-152.
- Mun, B. C. and Park, H. U., 2003, A study on impact and landscape change by the land reclamation

- using GIS in the islands - Focused on Sinan Gun(Bigum Island)-, *The Geographical Journal of Korea*, 37(3), 307-323 (in Korean).
- Oh, J. K., Do, J. D., and Jo, Y. G., 2006, Sedimentary characteristics in the tidal flat of Janghwa-ri, Kangwha Island, Eastern Yellow Sea, *Journal of the Korean Earth Science Society*, 27(3), 328-340 (in Korean).
- Park, E. J., 2001, A study on sedimentary environment of intertidal region according to surface sediment analysis, *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 8(1), 15-26 (in Korean).
- Ryu, S. O. and Sin, Y. S., 2006, Sedimentologic characteristics of tidal flat sediments after the construction of sea dyke in Kwangyang Bay, south coast of Korea, *Journal of the Korean Earth Science Society*, 27(6), 659-669 (in Korean).
- Singh, A., 1989, Digital change detection techniques using remotely sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, 10(6), 989-1003.
- Song, C., Woodcock, C. E., Seto, K. C., Lenney, M. P., and Macomber, S. A., 2001, Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects, *Remote Sensing of Environment*, 75, 230-244.
- Wickware, G. M. and Howarth, P. J., 1981, Change detection in the Peace-Athabasca delta using digital Landsat data, *Remote Sensing of Environment*, 11, 9-25.
- Yang, J. Y. and Choi, C. U., 2006, An analysis of the coastal topography and land cover changes in the Haeundae Beach, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 9(1), 101-115 (in Korean).
- Zarin, D. J., Pereira, V. F. G., Raffles, H., Rabelo, F. G., Pinedo-Vasquez, M., and Congalton, R. G., 2001, Landscape change in tidal flood plains near the mouth of the Amazon River, *Forest Ecology and Management*, 154, 383-393.
- 교신: 박지훈, 314-701, 충남 공주시 신관동 182, 공주대학교 사범대학 지리교육과(이메일: pollenpjh@kongju.ac.kr, 전화: 041-850-8245)
- Correspondence: Ji-Hoon Park, Department of Geography Education, College of Education, Kongju National University, 182, Shinkwandong, Gongju, Chungnam, 314-701, Korea (e-mail: pollenpjh@kongju.ac.kr, phone: +82-41-850-8245)
- 최초투고일 2010. 3. 26
수정일 2010. 4. 15
최종접수일 2010. 4. 16