

## Landsat TM 영상을 이용한 서해안 토지이용의 변화 추적 A Change Detection of Western Coastal Land-Use using Landsat TM Images

양인태\* · 박재국\*\* · 김흥규\*\*\*

Yang, In Tae · Park, Jae Kook · Kim, Heung Kyoo

### 요 旨

최근 연안개발과 간척사업은 인구의 집중, 상업지역의 밀집 등 토지이용의 급속한 변화와 갯벌의 파괴, 해양생태계의 파괴와 같은 연안환경오염을 낳고 있다. 따라서 광범위한 토지이용 및 그 변화를 탐지할 수 있는 보다 새로운 기법의 연구가 이루어져야 할 필요성이 절실한 실정에 있다. 그러므로, 본 연구는 연안지역의 토지피복 분류를 통한 변화탐지 기법을 새롭게 설계하고 적용하여 전체적 변화영상뿐만 아니라 분류항목별 변화영상을 제작하고 정량적인 변화량까지도 추출해 낼 수 있는 프로그램을 제작하였다. 또한 영상이 가지고 있는 각 영상소가 두시기 사이에 무엇으로 변화하였는지를 시각적으로 판독할 수 있게 함으로써 연안개발 및 도시계획 수립을 위한 기초의 의사결정 자료로 이용할 수 있도록 하였다.

### ABSTRACT

Coastal development and reclamation work make environment of shore destroy, such as rapid change of land use and destruction of wet-land and ocean ecosystem. Therefore new technique to detect change have been needed. This study designed new change detection method and applied to study area. The change detection image and quantitative change area by each classes are calculated. Also, this study can use the basic idea-determination data for coastal development and city plan as the sense of sight by changed images that changed from any land-cover to any land-cover between two dates.

### 1. 서 론

우리 나라는 해안선의 길이가 총 11,542 km에 달하며 삼면이 바다로 접해 있는 반도국가이다. 또한 풍부한 어족자원의 보고일 뿐만 아니라, 수려하고 뛰어난 자연경관을 자랑하는 해안선을 따라 바다와 육지가 맞닿은 연안역이 있다.

연안역은 사회경제적인 측면에서도 그 중요성이 높아 항만, 임해공단 등 경제활동의 중심지가 될 뿐만 아니라, 육지로부터 유입되는 영양염이 풍부하여 수산생물의 산란장 및 서식지로도 중요한 의미를 가진다.<sup>5)</sup> 또한 이곳은 오랜 세월 동안 사람들의 삶을 영위해온 터전으로 생활형태나 주거환경들은 주변환경에 적합하도록 변화되

어져 왔다. 따라서 연안역은 경제적, 환경적, 생태학적으로 상당히 중요한 위치를 차지하고 있다. 하지만 연안지역의 공장에서 무단으로 방출되는 폐수, 침식과 퇴적을 증가시키는 각종 건설공사, 경작지로부터 비료와 농약의 방출 등 연안환경오염을 증가시키고 있으며, 이로 인해 연안의 갯벌과 수생 서식지가 파괴되고 있는 실정이다.<sup>5)</sup> 또한 1960년대 초부터 복잡한 지형을 가진 서·남 해안선을 간척하여 보다 단순하면서도 효율적인 토지이용이 가능하도록 하는 사업을 추진함으로써 생태계의 파괴뿐만 아니라 인구의 집중과 상업지역의 밀집 등 토지이용의 빠른 변화를 보여주고 있다.

서해안의 경우 80년대부터 연안지역개발을 위한 활발한 간척사업을 추진해 왔으며, 특히 인천 국제공항 건설, 신항만 건설, 쓰레기 매립지 선정, 신도시 건설 등 지속적인 간척사업을 진행하고 있어 이로 인한 환경 및 생태계의 변화 등 심각한 연안환경오염의 우려를 낳고 있는 실정이며, 연안지역개발에 따른 인구의 집중과 상

\*강원대학교 토목공학과 교수

\*\*강원대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\*LG-EDS시스템 마케팅부서 공공기획팀 과장

업지역의 밀집 등 이 지역 일대의 토지이용이 상당히 빠르게 변화되고 있다.

따라서 광범위한 토지이용 및 그 변화를 탐지할 수 있는 보다 새로운 기법의 연구가 이루어져야 할 필요성이 절실한 실정에 있다(정보통신부, 1997 ; Chen, 1997).

그러므로, 본 연구에서는 연안지역개발에 따른 연안지역의 토지피복(농업지역, 주거지역, 상업지역)의 변화정도를 멀티스펙트럴 인공위성영상 분석에 의해 추출함으로써 서해연안지역의 간척사업에 따른 해안선의 변화정도를 추출하였다. 뿐만 아니라 연안지역의 토지피복 분류를 통한 다시기 변화탐지기법을 적용하고, 분류항목별 변화영상 및 정량적인 변화량을 추출함으로써 연안개발 계획을 위한 의사결정자료로 이용할 수 있도록 하는데 목적을 두었다.

## 2. 영상의 전처리

### 2.1 최적 사용 밴드의 선정

관심 분류항목에 대한 각 밴드의 트레이닝 통계치가 체계적으로 계산된 이후, 관심 분류항목을 영상으로부터 분리 해내는데 어떤 밴드가 가장 적당할 것인지를 측정하게 된다. 이러한 처리과정을 사상선택(Feature Selection)이라 한다.<sup>10)</sup> 사상선택의 목적은 분류에 필요 없는 분광정보를 가진 밴드를 분석하여 분류에 사용 가능한 모든 밴드로부터 제거하기 위한 것이다. 이 과정 중에 영상자료군의 크기가 감소되게 된다. 이러한 처리는 분류 정확도에는 아무런 영향을 주지 않으면서도 영상분류 처리에 소요되는 비용(시간, 비용, 계산시간 등)을 최소화시켜 주게 된다. 본 연구에서는 통계학적 사상선택 방법 중 분기도 측정방법(Divergency)을 이용하여 Landsat TM 7개 밴드 중 공간해상도가 120m인 열적외선 밴드(6 band)를 제외한 여섯개의 밴드를 이용하여 분류항목간 분기도를 가장 높게 보여주는 밴드조합을 선정하였다. 즉, Landsat TM 1, 2, 3, 4, 5, 7 밴드를 선택하여 총 64개( ${}_6C_1 + {}_6C_2 + {}_6C_3 + {}_6C_4 + {}_6C_5 + {}_6C_6$ )의 밴드조합에 따른 분류항목간 분기도를 측정하였고, 그 중 주요 관심 피복인 갯벌과 다른 분류항목과의 조합이 그 밖의 분류항목간 조합보다 분기도가 상대적으로 높으면서, 전체적으로 밴드조합의 분기도가 가장 높은 밴드조합을 선정하였다. 본 연구에서 85년 영상에 대한 분기도 측정 결과, 밴드조합 1, 2, 3, 4, 5, 7의 평균분기도가 1990으로 다

른 밴드조합보다 높게 나타났으며 동일 방법으로 96년 영상의 분기도 측정 결과, 1, 2, 3, 4, 5, 7 밴드조합에서 평균분기도가 1998로 가장 높게 나타났다. 따라서 본 연구에서는 토지피복분류를 위한 최적밴드선정에 있어 평균분기도를 가장 높게 보여주는 Landsat TM 1, 2, 3, 4, 5, 7 여섯 개의 밴드를 선정하였다. 또한, 본 연구에서 분류방법으로 이용하고자 하는 최대 우도 분류법은 사용된 모든 밴드들이 정규분포에 가까운 영상소값 분포를 보인다는 가정 하에 만들어진 방법이고 정규분포를 이루는 밴드들 사이의 영상소 분포는 타원의 형태를 이루게 된다. 즉 사용 밴드들 사이의 영상소 분포가 거의 정규분포에 가까운 형태를 가질 때 최대우도 분류법은 유효한 방법이다.

### 2.2 전처리

본 연구에서는 미보정 영상의 기하보정을 실시하기 위해 국립환경연구소에서 실측한 지상기준점 8지점을 선정한 후 96년 영상에 대해 Map to Image 방식으로 기하보정을 실시하였다. 86년 영상의 기하보정은 이미 11년이라는 시간이 흘러 당시의 참고자료를 구하기가 힘들고 지리적으로 상당한 변화가 있으므로 도로의 교차로, 건물 모퉁이, 다리와 같이 잘 변하지 않는 곳을 선정하여 기하보정이 완료된 96년 영상을 참조, Image to Image 방식으로 85년 영상을 기하보정하였다. 이때 좌표변환은 Affine 변환 방정식을 이용하였고 재배열은 가장 계산이 빠르고 간단하며, 원래 자료의 영상소값 변질을 줄일 수 있고 주제도와 같은 8비트 영상의 재배열에 적합한 최근린 내삽법을 사용하였다.

본 연구에서 두 시기의 영상에 대해 기하보정을 실시한 결과 96년 영상의 RMSE는 0.36영상소(약 10.24 m)로 나타났고, 85년 영상은 0.37영상소(약 10.55 m)로 30m 해상도를 가진 Landsat TM 영상의 통상적 허용오차 0.5영상소를 만족시켰다.<sup>11)</sup>

### 2.3 연구대상지역 및 트레이닝 표본의 선정

연구대상지역은 간척사업 및 연안지역개발에 따른 연안지형의 변화가 증대되고 있는 서해안 일부지역의 인천광역시 일대를 선정하였다. 연구대상지역의 면적은 2297.88 km<sup>2</sup>(1539×1659 Pixel)에 달하며 행정구역상 인천광역시에 속한다. 이 지역은 강화군, 서구, 중구, 남구 등을 포함하며 특히 강화도와 영종도를 포함하는 강화곶

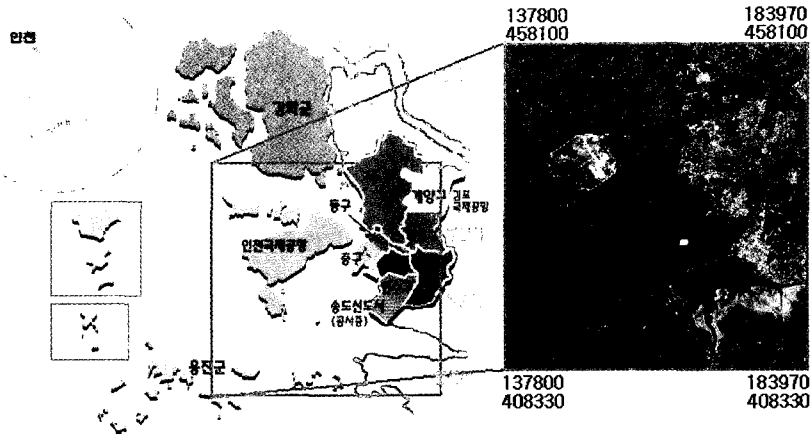


그림 1. 연구대상지역

별과 인천, 남동공단을 포함하는 인천갯벌 등 우리나라의 대표적인 갯벌들이 위치하고 있다. 또한 이 지역은 80년대부터 활발한 간척사업을 해왔으며, 인천국제공항 건설, 신항만 건설, 쓰레기 매립지, 신도시 건설 등 지속적인 간척사업 및 연안지역개발을 진행하고 있어 이 지역 일대의 지형변화가 타 지역에 비해 빠르게 변화되고 있다. 그러므로 연안지형의 변화를 추적하는데 있어 효과적으로 수행할 수 있는 인천광역시 일대를 연구대상지역으로 선정하였다.

본 연구에서는 경험적으로 식별 가능한 토지피복을 5가지(식생, 물, 인공구조물, 나대지, 갯벌)로 나누어 표본추출을 실시하였으며, 서로 이질적인 분광특성을 가진 영상소들을 주어진 매개변수에 따라 자동적으로 표본추출해주는 Region Growing 기법을 이용하여 트레이닝 표본을 선정하였다. 또한 최대우도 분류 결정규칙을 이용한 일반적 분류기법에 필요한 분류항목간의 공분산 행렬, 분류항목 평균벡터, 표준편차 등의 통계값을 추출하였다.

### 3. 영상분류

#### 3.1 최대우도 분류

본 연구에서는 Region Growing 표본추출 방법을 이용하여 감독 트레이닝을 실시하였다. 트레이닝의 결과는 군집이나 트레이닝표본을 의미하는 Signature의 집합으로 나타나는데 각 Signature는 하나의 분류항목에 대한 것이고 하나의 분류항목에 영상소들을 할당하기 위한 결정규칙과 함께 이용된다. 보통 Signature는 매개변수를 이용

하는 경우와 이용하지 않는 경우로 나눌 수 있는데 본 연구에서는 트레이닝 표본이나 군집 내 영상소들의 통계학적 매개변수들(평균, 공분산행렬 등)을 이용하여 Parametric Signature를 생성하였다. Signature가 정의되고 난 이후, 영상소들은 설정된 Signature에 따라 각 분류항목으로 나뉘어진다. 결정규칙은 Signature 내에 설정된 자료를 이용하는 수학적 알고리즘이며, 각 분류항목으로 영상소들을 분류하기 위한 것이다.<sup>8-10,13)</sup> 본 연구에서는 Parametric 결정규칙 중 어떤 영상소가 어떤 분류항목에 포함될 개연성에 기초한 방법인 최대우도분류 결정규칙을 이용하여 분류를 실시하였다.

$$p_c = [-0.5 \ln(|Cov_c|)] - [0.5(X - M_c)^T (Cov_c^{-1})(X - M_c)] \quad (1)$$

$p_c$  : 영상소의 분류항목 할당 확률값

$Cov_c$  : 공분산행렬

$|Cov_c|$  : 공분산행렬의 전개값

$X$  : 영상소값

$M_c$  : 분류항목의 평균값

$T$  : 전치행렬

$^{-1}$  : 역행렬

식 (1)은 최대분류 알고리즘에서 각 영상소들이 어느 특정 분류항목에 속할 개연성(확률)을 계산하기 위한 것이다.<sup>10)</sup> 개개 분류항목의 공분산 행렬마다 전개치와 역행렬을 계산하고 평균값을 계산함으로써 전체 영상소 하나 하나마다 개개 분류항목에 속할 확률을 계산한다. 그 다

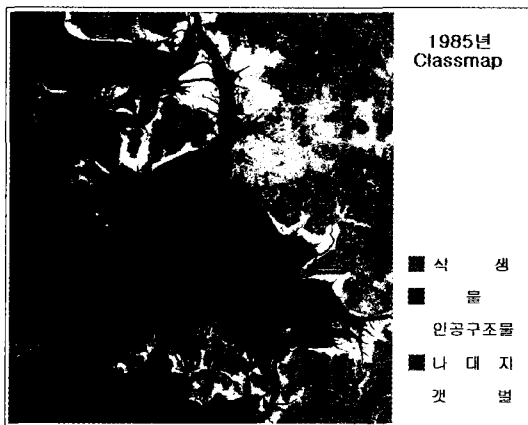
음 가장 확률이 큰 분류항목에 그 영상소를 할당한다.

### 3.2. 분류 결과 영상 및 결과 통계치의 생성

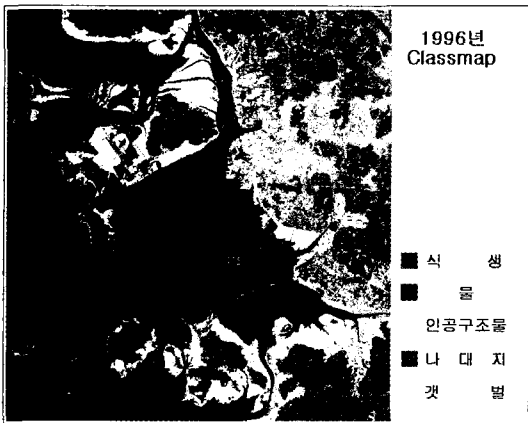
85년, 96년 영상의 토지피복분류를 실시한 결과 서해안의 연안개발과 간척사업을 통해 전반적으로 식생 및 물이 감소되고 인공구조물과 나대지 및 갯벌이 증가되어

표 1. 분류항목별 면적

분류항목	년도		면적(Km <sup>2</sup> )	
	85년	96년	85년	96년
식생	29.055	23.448	667.6506	538.8165
물	57.373	49.921	1318.3623	1147.1247
인공 구조물	3.642	8.011	83.6847	184.0815
나대지	0.865	4.703	19.8792	108.0648
갯벌	9.065	13.917	208.3041	319.7934
계	100.000	100.000	2297.8809	2297.8809



(a) 1985년



(a) 1996년

그림 2. 최대우도 결정규칙에 의한 분류결과 영상

진 것으로 나타났다. 특히 갯벌의 증가는 한강, 임진강 등 서해연안에 위치한 강으로부터 유실되어온 토사가 퇴적되어 상당히 큰 퇴적지역을 형성하고 있고, 전체적으로 간척에 따른 공사지역 내의 물막이 공사 등으로 인해 토사가 많이 쌓였으며,<sup>9)</sup> 85년, 96년 두 시기 사이에 걸쳐 수집된 Landsat TM 영상의 취득 당시 서해안의 조석간만의 차를 고려하지 않았던 것이 갯벌의 증가 요인으로 나타난 것으로 사료된다.

표 1은 토지피복의 감독분류를 실시한 후 계산되어진 분류항목별 비율, 면적을 알기 쉽도록 표로 나타낸 것이며, 그림 2는 최대우도 결정규칙을 이용하여 분류된 분류결과 영상이다.

## 4. 변화탐지

본 연구에서는 그림 3과 같은 방법으로 변화탐지를 실시하였다.

본 연구에서는 정확한 변화탐지를 위한 선행조건들을 만족시키기 위해 동일 지역에 동일 위성 시스템에서 얻

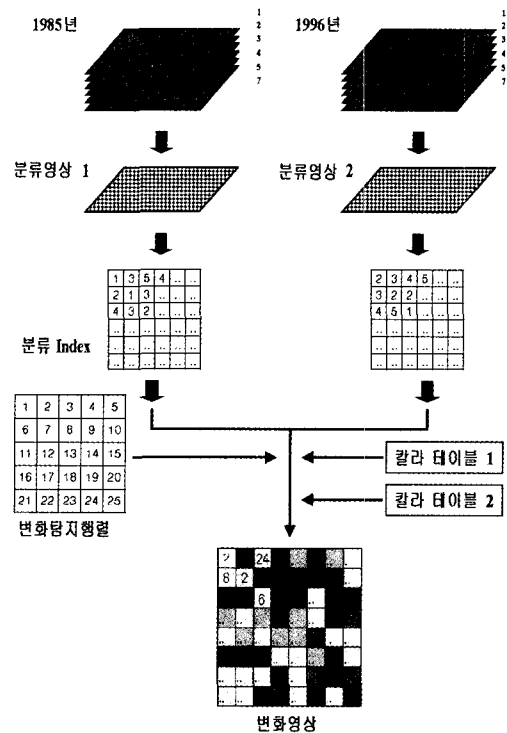


그림 3. 변화탐지 흐름도

어진 영상을 이용함으로써 공간해상도, 분광해상도, 복사 해상도를 만족시키고 계절적 영향을 감소시키기 위해 계절적 차이가 거의 없는 가을의 영상을 이용함으로써 시간해상도를 만족시켰다. 그리고 분류작업 전에 두 시기의 영상 모두에 허용오차 이내의 기하학적 보정을 실시함으로써 분류결과 및 변화탐지에 미칠 수 있는 오차를 최소화하였다.

본 연구에서는 변화탐지기법 중 선분류 후비교법을 이용하여 변화탐지를 실시하였다. 선분류 후비교법은 각 시기에 대해 분류를 수행하고 이를 직접 영상소끼리 비교하는 방법으로 어떤 토지피복에서 어떤 토지피복으로 변했는지를 정량적으로 파악할 수 있으며 처리 방법을 이해하기가 쉽다는 장점이 있다.<sup>10)</sup> 그러나 변화탐지를 수행하는 영상의 기하보정이 정확해야 하며 분류정확도가 높지 않을 경우 변화탐지의 신뢰도가 떨어질 수 있는 위험이 있으므로 최대한 분류정확도를 향상시켜야 한다. 그러므로 본 연구에서는 이러한 단점을 최소화하기 위해 허용오차 이내의 기하보정을 실시하였고 비교적 높은 분류정확도로 분류를 실시하였다. 기하보정 및 감독분류가 끝난 두 시기의 분류영상을 가지고 선분류 후비교법을 이용한 각 분류항목별 면적변화량, 변화영상 제작, 변화영상의 각 영상소별 영상소수와 면적 등을 계산할 수 있는 프로그램을 제작하였다.

본 연구에 적용된 프로그램의 기본 알고리즘은 두 시기의 개개 영상소값을 비교하여 변화탐지 행렬에서 정의한 영상소로 할당하는 것이다.

방정식은 다음과 같은 수학적 방정식을 사용하여 표현할 수 있다.

$$BV_{ij}(1) \leftrightarrow BV_{ij}(2) \rightarrow Dij \quad (2)$$

Dij = 변화영상의 영상소값  
 BV<sub>ij</sub>(1) = 시기1의 분류영상 영상소값  
 BV<sub>ij</sub>(2) = 시기2의 분류영상 영상소값  
 i = line의 수  
 j = pixel의 수

선분류 후비교법을 이용한 변화탐지를 실시하기 위해 다음과 같은 방법을 수행하였다. 첫 번째로, 프로그램을 이용하여 두 시기의 분류된 영상을 아스키(ASCII)파일로 변환하였고, 두 번째로 토지피복의 변화면적과 변화영상을 제작하기 위해 "From-To"와 같은 변화탐지 행렬표를

표 2. 변화탐지 행렬

년도	1996년					
	ToFrom	V	W	UA	BL	WL
1985년	V	1	2	3	4	5
	W	6	7	8	9	10
	UA	11	12	13	14	15
	BL	16	17	18	19	20
	WL	21	22	23	24	25

※V=식생, W=물, UA=인공구조물, BL=나대지, WL=갯벌.

표 3. 영상소값 할당 규범

영상소값	의미	영상소값	의미
1	V → V	14	UA → BL
2	V → W	15	UA → WL
3	V → UA	16	BL → V
4	V → BL	17	BL → W
5	V → WL	18	BL → UA
6	W → V	19	BL → BL
7	W → W	20	BL → WL
8	W → UA	21	WL → V
9	W → BL	22	WL → W
10	W → WL	23	WL → UA
11	UA → V	24	WL → BL
12	UA → W	25	WL → WL
13	UA → UA		

※V=식생, W=물, UA=인공구조물, BL=나대지, WL=갯벌.

이용, 최종 변화영상의 아스키파일을 생성하였다. 이때 변화영상의 개개 영상소별 영상소수와 면적이 계산되며, 분류항목별 면적과 변화량이 계산된다. 최종적으로 변화영상을 모니터 상에 출력하기 위해 ASCII to Image 툴을 이용하여 변화영상을 제작하였고, 칼라 테이블을 이용하여 영상소별로 할당하였다. 이때 사용된 칼라 테이블은 전체영상소별 변화영상과 개개 영상소별 변화영상을 시각적으로 판단 용이하도록 제작된 것이다.

표 2, 표 3은 각각 변화탐지 행렬표와 영상소값 할당 규범이다.

변화탐지를 위해 개발된 프로그램을 이용하여 두 시기 사이의 분류항목별 면적 변화량과 변화영상의 개개 영상소별 영상소수 및 영상소별 면적을 계산하였다.

표 4는 프로그램을 통해 계산된 개개 영상소별 영상소수 및 영상소별 면적을 한눈에 알기 쉽도록 도시한 것이다.

표 4. 영상소별 면적 및 영상소수

단위 : Km<sup>2</sup>

영상소 값	영상 소수	면적	영상소 값	영상 소수	면적
1	539779	485.8011	14	5692	5.1228
2	3263	2.9367	15	6961	6.2649
3	77639	69.8751	16	2917	2.6253
4	65956	59.3604	17	53	0.0477
5	55197	49.6773	18	9305	8.3745
6	5982	5.3838	19	7580	6.8220
7	1266280	1139.6520	20	2233	2.0097
8	11716	10.5444	21	48122	43.3098
9	19353	17.4177	22	4846	4.3614
10	161516	145.3644	23	27571	24.8139
11	1885	1.6965	24	21491	19.3419
12	141	0.1269	25	129419	116.4771
13	78304	70.4736	합 계	2553201	2297.8809

표 5. 분류항목별 면적변화량

단위 : Km<sup>2</sup>

분류항목	1985년	1996년	면적변화량
1	667.6506	538.8165	-128.8341
2	1318.3623	1147.1247	-171.2376
3	83.6847	184.0815	100.3968
4	19.8792	108.0648	88.1856
5	208.3041	319.7934	111.4893
합계	2297.8810	2297.8810	0

※분류항목: 1=식생, 2=물, 3=인공구조물, 4=나대지, 5=갯벌.

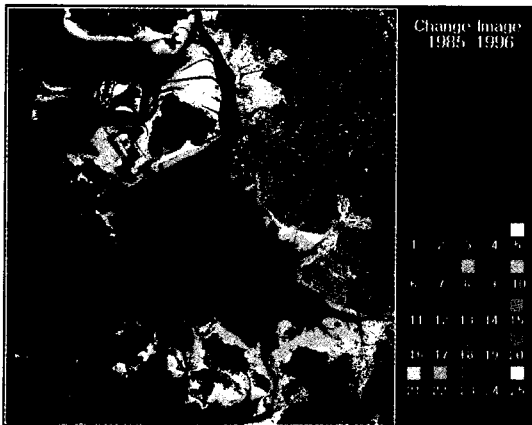


그림 4. 전체 영상소에 대한 변화영상

표 5는 프로그램을 통해 계산된 분류항목별 면적 변화량을 한눈에 알기 쉽도록 도시한 것이다.

그림 4는 본 연구에서 얻어진 85년 10월과 96년 9월 사이의 변화영상을 모니터 상에 표현하기 위해 칼라 테이블을 적용하여 전체 영상소에 대한 변화영상을 제작함으로써 변화정도를 한눈에 알아볼 수 있도록 하였다.

그림 5는 본 연구에서 얻어진 85년 10월과 96년 9월 사이의 변화영상에 대해 칼라 테이블을 적용하여 각 영상소가 두시기 사이에 무엇으로 변화하였는지를 시각적으로 한눈에 알아볼 수 있도록 하였다. 즉, 1985년 식생항목의 경우 식생에서 식생으로 변화한 영상소값 1에 대해 255.0.0을 할당, 식생에서 물로 변화한 영상소값 2에 대해 0.0.255를 할당, 식생에서 인공구조물로 변화한 영상소값 3에 대해 0.255.0을 할당, 식생에서 나대지로 변화한 영상소값 4에 대해 128.64.0을 할당, 식생에서 갯벌로 변화한 영상소값 5에 대해 255.255.0을 할당하여 변화영상을 제작하였고, 일반인도 이해하기 쉽도록 트루칼라(True Color Composite)영상에 중첩시켰다. 또한 각 분류항목에 대해서도 같은 방법을 실시하여 총 5개의 변화영상을 제작함으로써 분류항목별 변화 양상을 한눈에 알아볼 수 있도록 하였다.

## 4. 검증 및 고찰

### 4.1 분류 정확도 검증

본 연구에서는 분류 결과의 정확도 검증을 위해 오차행렬(Error Matrix)을 이용하여 정확도 검증을 실시하였다. 오차행렬은 다음과 같이 세 가지 정확도를 보여주고 있다. 첫째, 오차행렬의 대각선에 해당하는 영상소의 총합을 전체 검증자료로 쓰인 영상소수로 나눈 전체 정확도(Overall Accuracy). 둘째, 분류결과가 분석가의 관점에서 특정지역을 분류기법이 얼마나 정확히 분류해 내는가 하는 관점에서 본 생산자 정확도(Producers Accuracy), 여기서 생산자 정확도는 각 분류항목의 대각선에 해당하는 값을 각 분류항목의 검증자료 영상소수로 나눈 것을 말하며 이를 누락오차(Omission Error)라고도 한다. 셋째, 분류결과를 사용하는 입장에서 관심대상은 생성된 토지 피복 분류영상이 과연 전체적으로 실제 토지피복과 얼마나 일치하는가이다. 이를 사용자 정확도(User's Accuracy)라 하며 검증자료 중 각 분류항목의 대각선에 있는 값을 분류영상의 각 분류항목의 영상소수로 나눈 것을 말하며 사용자 정확도를 위임오차(Commission Error)라고도 한다.<sup>10)</sup> 다음 표 6은 85년과 96년 영상에 대한 분류결과

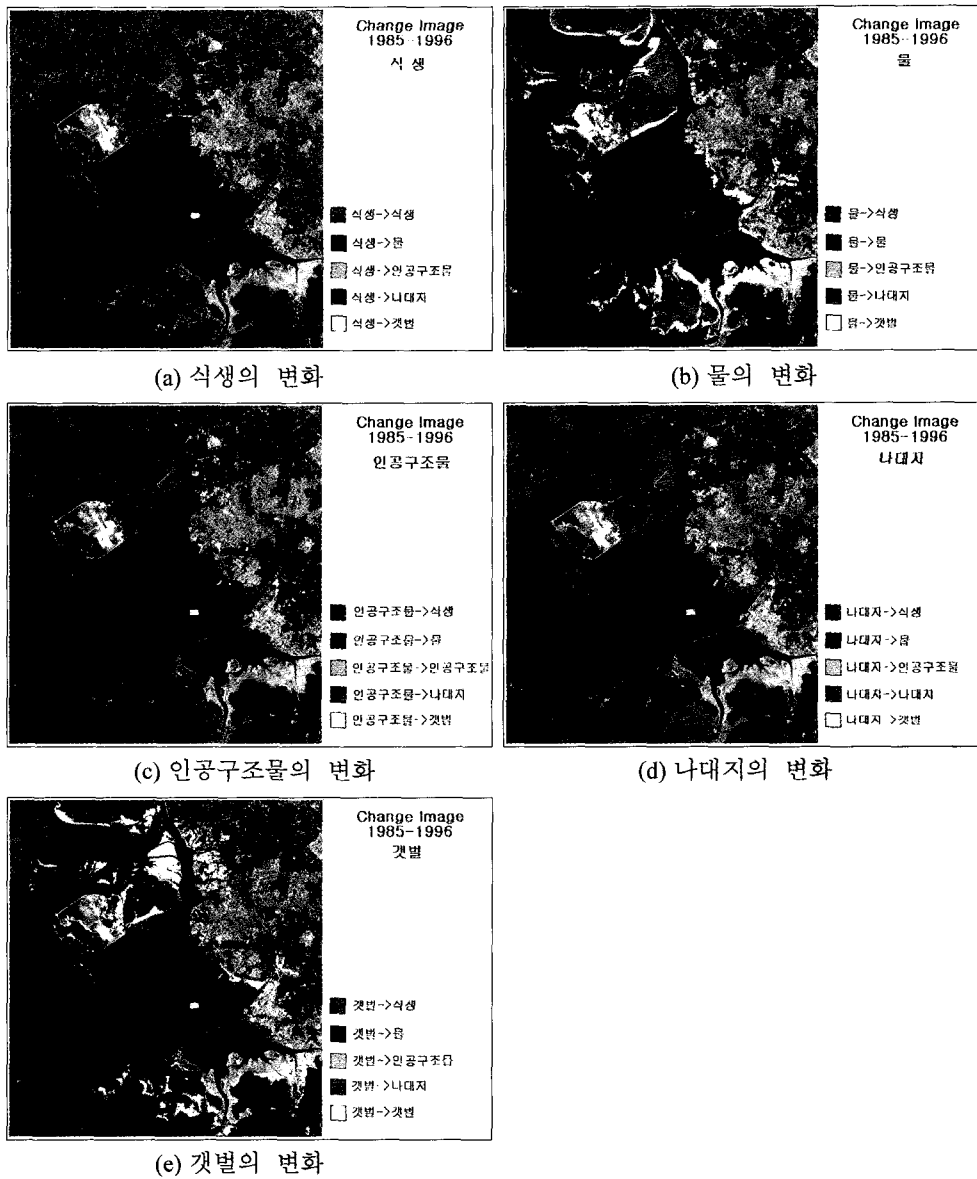


그림 5. 분류항목별 변화영상

표 6. 오차행렬

항목 \ 참조	1985년						항목 \ 참조	1996년					
	V	W	UA	BL	WL	SUM		V	W	UA	BL	WL	SUM
V	3627	0	19	5	155	3806	V	1066	0	35	18	42	1161
W	2	1372	0	0	0	1374	W	5	3758	24	0	30	3817
UA	11	0	3226	11	114	3362	UA	38	0	2098	1	39	2176
BL	8	0	0	233	0	241	BL	10	5	0	242	0	257
WL	141	0	60	0	4087	4288	WL	35	45	91	8	5959	6138
TOTAL	3789	1372	3305	249	4356	13071	TOTAL	1154	3808	2248	269	6070	13549

(a) 1985년

(b) 1996년

표 7. 정확도 단위 : %

관측일 \ 항목	V	W	UA	BL	WL
1985.10.21	95.30	99.85	95.95	96.68	95.31
1996.09.01	92.82	98.45	96.42	94.16	97.08

(a) 사용자 정확도

단위 : %

관측일 \ 항목	V	W	UA	BL	WL
1985.10.21	95.72	100.00	97.61	93.57	97.82
1996.09.01	92.37	98.69	93.32	89.96	98.17

(b) 생산자 정확도

표 8. 전체 정확도 단위 : %

	1985.10.21	1996.09.01
전체 정확도	95.98	96.15

오차행렬이다.

다음 표 7은 분류항목별 사용자 정확도와 생산자 정확도를 계산한 표이다.

다음 표 8은 전체 정확도를 나타낸 표이다.

본 연구에서는 최대우도 분류에 사용했던 트레이닝 표본을 그대로 사용하여 오차행렬을 생성하였다. 표 8을 살펴보면 1985년 분류영상과 1996년 분류영상의 전체 정확도가 각각 95.98%, 96.15%로 전체 정확도가 비교적 높게 나타났다. 이는 분류결과가 실제 토지피복과 대체로 일치함을 보여주며, 전체적으로 트레이닝 표본의 선정이 올바로 됐음을 보여준다.

표 7을 살펴보면 생산자 정확도와 사용자 정확도가 전체적으로 비슷한 비율로 비교적 높은 신뢰성을 보여주고 있다. 다만 96년 분류영상의 식생 분류항목과 96년 나대지 분류항목이 다른 분류항목에 비해 정확도가 떨어졌다. 이는 트레이닝 지역 선정에 있어 오류가 있음을 의미한다. 이러한 결과에서 보듯이 최대우도 분류기법에 의한 두 시기 영상의 토지피복분류는 상당히 양호한 분류 결과를 보임을 알 수 있었다. 다만, 좀더 정확도가 높은 항공사진이나 GPS장비를 이용한 현장검증이 이루어지지 못한 것이 아쉬움으로 남으며, 향후 보다 세밀한 분류 결과의 검증을 위한 이항확률 분포에 따른 검증표본수를 결정하고 보다 정확도가 높은 검증자료를 이용함으로써 분류결과 신뢰수준을 높일 생각이다. 이렇게 할 경우 보다 신뢰성 있는 분류결과 검증이 될 뿐 아니라 두

시기 사이의 변화탐지 결과의 검증도 보다 신뢰성 있게 실시할 수 있을 것으로 생각된다.

#### 4.2 변화탐지 결과의 검증

본 연구에서는 선분류 후비교법을 이용하여 토지피복의 변화정도를 추출하였다. 이 기법을 사용하기 이전에 먼저 고려되어야 할 점은 변화탐지 결과의 정도가 분류 결과의 신뢰도에 크게 좌우된다는 것이다. 만약 두 시기의 분류정확도가 비슷하다고 가정하였을 때 변화탐지의 정확도는 두 시기의 분류정확도를 곱한 결과일 것이다.<sup>4)</sup> 즉, A시기에 물이 정확히 분류될 확률이 0.5이고 B시기에 물이 정확히 분류될 확률이 0.5라면 물에 대한 변화탐지 정확도는 0.25이다. 이렇게 저조한 수치의 정확도를 가지고 변화탐지를 실시한다면 그결과는 심각한 오류를 발생할 것이다. 그러므로 변화탐지를 수행하기 이전에 분류 결과에 대한 신뢰성을 평가해야 할 것이다. 본 연구에서는 분류결과에 대한 신뢰성을 전장에서 평가하였으므로 이 분류결과를 이용하여 변화탐지의 신뢰성을 평가하였다. 표 9는 변화탐지 기법의 신뢰성을 평가하기 위해 오차행렬의 생산자 정확도를 확률로 나타내었다.

표 9를 살펴보면 가로축과 세로축은 85년, 96년 분류 영상에 대한 개개 분류항목의 생산자 정확도를 확률로 나타낸 것이다.

변화탐지의 신뢰성을 살펴보면 전체적으로 최저 83%에서 최고 98%까지 변화탐지의 신뢰성을 보여주고 있으며, 특히 물에서 갯벌로의 변화탐지 신뢰성은 98%로 상당히 높았다. 반면 나대지에서 나대지의 변화탐지 신뢰성은 상당히 낮게 나타났다.

본 연구에 대한 변화탐지 결과를 살펴보면 10년에 걸친 서해안의 연안개발과 간척사업을 통해 전반적으로 식생 및 물이 감소되고 인공구조물과 나대지 및 갯벌이 증가되어진 양상을 보여주고 있다. 여기서 특히 주목할 만

표 9. 변화탐지 신뢰성 평가표

년도	1996년					
	분류항목 (생산자정확도)	V	W	UA	BL	WL
1985년	V	0.92	0.98	0.93	0.89	0.98
	W	0.95	0.87	0.93	0.88	0.84
	UA	1.00	0.92	0.98	0.93	0.89
	BL	0.97	0.89	0.95	0.90	0.86
	WL	0.93	0.86	0.91	0.86	0.83
		0.97	0.89	0.95	0.90	0.86



한것은 갯벌의 증가이다. 간척사업을 통해 갯벌의 감소해야만 함에도 불구하고 이처럼 증가된 결과가 나온 것은 한강, 임진강, 예성강 등 서해연안에 위치한 강으로부터 유실되어 온 토사가 퇴적되어 상당히 큰 퇴적지역을 형성하고 있으며, 시화지역 및 인천 국제공항 건설지역 내의 물막이 공사 등으로 인해 토사가 많이 쌓여 갯벌이 증가된 것으로 사료된다. 또한 85년, 96년 두 시기에 걸쳐 수집된 Landsat TM 영상의 취득 당시에 서해안의 조석간만의 차를 고려하지 않았던 것이 갯벌의 증가로 나타난 것으로 사료된다. 하지만 그 밖의 지역들은 간척사업을 통한 갯벌의 감소를 눈으로 확인할 수 있다 (그림 5 참조).

위에서 살펴보았듯이 인공위성영상을 이용한 변화탐지는 정확한 수행에 있어 어려운 작업이다. 여기서 얻은 결과는 대축척의 항공사진을 분석하여 새로운 지도를 작성하는 것보다 정확하지 못하다. 그럼에도 불구하고 수작업에 의한 변화분석은 많은 인력이 필요하고 반복이 어려우며 비용문제가 있기 때문에 연구자들은 인공위성영상을 이용하여 변화분석을 시도하고 있다. 이러한 이유로 본 연구에서도 인공위성영상을 이용한 변화탐지를 실시하였다.

변화탐지를 수행하는 과정에서 아쉬웠던 점은 검증에 대한 충분한 자료가 부족했던 점이다. 향후 변화탐지의 신뢰성을 향상하기 위해 두시기 영상의 검증 점을 선정하여 보다 신뢰성 있는 분류검증을 실시한 후 변화탐지 검증을 실시하면 보다 객관적인 변화탐지의 검증이 될 것으로 사료된다. 또한 계절적 영향 및 조석간만의 차를 고려한 여러 시기의 영상을 획득한다면 서해연안의 토지 이용 및 간척지의 변화를 실시간으로 추적할 수 있을 것이다.

향후 변화탐지를 수행하는 과정에서 연구대상지역의 환경, 자료의 상태, 변화탐지 기법의 특성을 고려하여 특정한 지역에 따라 적용할 수 있는 적절한 변화탐지 기법의 연구가 과제로 남아 있다.

## 5. 결 론

본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 변화탐지분석을 실시한 결과 전반적으로 식생 및 물이 감소되고 인공구조물과 나대지 및 갯벌이 증가된 것으로 나타났으며, 그 이유로는 간척사업과 연안지역개

발에 따른 영향으로 사료된다. 특히, 갯벌의 증가는 서해연안에 위치한 강으로부터 유실되어온 토사가 퇴적되어 넓게 분포되어 있고, 건설지역 내의 물막이 공사 등으로 인해 토사가 많이 쌓여 이곳이 갯벌로 분류된 것으로 사료된다.

둘째, 원격탐사 영상을 이용한 토지피복의 변화정도를 추출하기 위한 방법은 다양하지만 변화위치와 정량적인 변화량을 동시에 추출하기 위한 기법은 그리 많지 않다. 그러나 본 연구에서 연안지역의 토지피복 분류를 통한 다시기 변화탐지 기법을 새롭게 설계하고 적용하여 전체적 변화영상 뿐만 아니라 분류항목별 변화영상 및 정량적인 변화량까지도 추출할 수 있었다.

셋째, 원격탐사 영상이 가지고 있는 각 영상소가 두 시기 사이에 무엇으로 변화하였는지 각 영상소별 변화양상을 시각적으로 관독할 수 있게 하고 정량적 변화면적 통계치까지 일목요연하게 제시함으로써 연안개발 및 도시계획 수립을 위한 기초 의사결정 자료로 이용할 수 있도록 하였다.

넷째, 향후, 서해연안지역의 조수간만의 차이와 같은 주변환경인자를 보다 심층적으로 수집하고 하나의 매개변수로 이용할 경우 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 GIS DB구축을 위한 하나의 Layer 또는 속성자료로 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

## 참고문헌

1. 농업진흥공사, “새농진”, 제 292호, 1999.
2. 송무영, 유영철, 신광수, “Multi-temporal Landsat TM data를 이용한 천수만 간척지의 지표 변화감지 연구”, 대한원격탐사학회지, 통권2호, 1999, 57-62/
3. 양인태, 김홍규, 신계종, “다시기 원격탐사 영상의 퍼지감독분류 결과를 이용한 토지피복 변화탐지기법의 개발”, 대한토목 학회 논문집, 제19권, 제III-4호, 1999.
4. 임용조, 신대혁, 오성남, 안충현, “시계열 Landsat TM 위성영상 지표피복도의 정량적 분류정확도 검증”, 대한원격탐사학회지, 통권2호, 1999, 8-13.
5. 정신택, “환경친화적 연안역 개발”, 대한토목학회지, Vol. 47, No. 7, 1999, 19-20.
6. Anderson J.R., E.E Hardy, J.T. Roach, and R.E. Witmer, “A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensing Data”, USGS Professional Paper 964, 1976, 28.
7. Dobson, J.E., and E.A. Bright, “Coast Watch Change

- Analysis Program (C-Cap) Chesapeake Bay Regional Project”, in ASPRS/ACSM 92 Technical PAPER, Vol.1, Global Change and Education. Bethesda, MD:American Society for Photogrammetry & Remote Sensing, 1992, 109-110.
8. ERDAS, ERDAS field guide 3rd edition, 1995.
  9. Gregory A. Baxes, Digital Image Processing, Prentice Hall, 1983.
  10. John R. Jensen, Introductory Digital Image Processing 2 Edition, Prentice Hall, 1996, 240-243.
  11. Klemas, V., J.E. Dobson, R.L. Ferguson, and K.D. Haddad, “A Coastal Land Cover Classification System for the NOAA CoastWatch Change Analysis Project”, Journal of Coastal Research, Vol. 9, No. 3, 1993, 862-871.
  12. Robb D. Macleod and Russell G. Congalton, “A Quantitative Comparison of Change-Detection Algorithms for Monitoring Eelgrass from Remotely Sensed Data”, PE & RS, Vol. 64, No. 3, 1998, 207-216.
  13. Paul J. Curran, Principles of Remote Sensing, Longman, 1985.