

# Landsat 위성영상을 이용한 경기만 갯벌 지형의 변화 분석

김태훈\*, 신상민, 이규성  
인하대학교 지리정보공학과

032) 860 - 8805, g2001311@inhavision.inha.ac.kr

## Change Analysis of Tidal-flat in Kyong-gi Bay Using Multi-temporal Landsat Satellite Image

Tae-Hun Kim\* , Sang-Min Shin, Kyu-Sung Lee

**요약 :** 경기만 지역은 세계최대 규모의 갯벌이 조성되어 해양생태계에서 중요한 역할을 수행하는 자연의 보고(寶庫)이나, 강한 조류운동, 한강 유역으로부터의 토사 이동, 그리고 계속되는 연안 개발등 지속적인 영향을 받고 있다. 본 연구에서는 이러한 경기만 지역의 지리적·환경적 요인에 기인한 갯벌지역의 지난 30년 동안 공간적 변화를 분석하고자 한다. 해안선·조간대 지형의 변화 특성은 1972년부터 1999년까지 약 5년 간격으로 촬영된 Landsat MSS와 TM 영상들을 이용하여 분석하였다. MSS와 TM의 공통적인 파장대이며, 물과 조간대의 경계가 뚜렷한 근적외선 파장대를 이용하여 간조시 갯벌의 경계선을 추출하였다. 각 시기의 수면, 갯벌, 육지를 나타내는 수치지도가 제작된 후, 이들을 중첩함으로써 시기별 변화유형을 구분하였고, 변화유형을 다시 원인에 따라 인공적인 요인과 자연적인 요인으로 나누었다. 의미있는 변화유형은 크게 8가지로 나타났으며, 변화유형과 변화요인을 연계하여 경기만 지역의 변화 특성을 도출하였다.

### 1. 서론

갯벌이란 파도가 잔잔하고 조수간만의 차이가 큰 대조차 지역에서 미사(silt)나 점토(clay)등의 미세 입자가 조류와 유입 하천에 의해 운반되어 오랫동안 쌓여 형성된 평탄한 지형을 의미한다. 우리나라에서 이러한 조건을 충분히 만족시키는 지역으로 서해연안지역을 들 수 있으며, 남

한 전체 갯벌 면적의 83%에 해당하는 1,980km<sup>2</sup>의 갯벌을 소유하고 있다.(1998, 해양수산부)

갯벌은 많은 해양 동식물의 산란과 서식처로서의 역할을 하며, 오염 정화 기능과 문화적인 기능을 수행하는 해양생태계의 보고(寶庫)이다. 그러나 급속한 인구 밀도의 증가와 산업화 과정을 거치면서 자원의 고갈과 도시의 확장으로 인하여

연안 갯벌지역에 대한 개발은 광범위하고 빠르게 증가되어 왔다. 개발에 의한 인위적인 영향은 연안 갯벌지역에 대해 해안 침식, 토사유입, 퇴적, 적조현상, 갯벌 및 해수오염과 같은 결과를 가져왔으며, 조류 운동과 토사이동과 같은 자연적인 요인 또한 지속적으로 영향을 미치고 있다.

이러한 갯벌 지형 변화에 대한 연구로 Chen과 Rau(1998)가 다중시기의 SPOT PAN 영상과 조위 측정자료를 이용하여 해안선의 변화를 탐지하고 DEM을 제작하여 삼차원적 변화 분석을 수행한 바 있으며, 국내에서 원등(2000)은 Landsat, ERS-1.2, IRS-1C 영상들을 사용하여 연안지역의 변화를 탐지하고 조간대 지형의 DEM을 제작한 바 있다.

본 연구에서는 경기만 지역의 지리적 요소 및 환경적 요소에 대하여 시계열적 변화탐지가 가능한 Landsat 위성 영상을 이용하여, 지난 30년 동안 갯벌의 공간적 변화를 분석하는 것을 목적으로 한다. 주 연구 대상은 경기만 갯벌 지형의 면적과 위치의 변화이며, 2차원적 다중시기 변화 분석에 그 중심을 두었다.

## 2. 연구 지역 및 자료

### 1) 연구 지역

경기만 지역은 해안선이 복잡한 리아스식 해안과 반폐쇄성 만의 지형으로 최대 9m 이상의 대조차와 낮은 수심을 가지고 있으며, 한강과 금강, 황하강등의 유입하천에서 운반된 토사가 퇴적되어 세계적 규모의 광활한 갯벌이 형성되어 있다(그림 1).

본 연구 지역에 해당하는 영상의 면적은 약 66×73.5 km<sup>2</sup>로서 남한 전체 갯벌 면적의 약 30%에 해당하는 갯벌이 분포되어 있으며, 수심이 얕아 매립이 용이하여

일찍이 1970년대 이후부터 경작지 조성, 공단 및 항만 건설, 시화호, 영종도 신공항, 송도 신도시등의 각종 개발과 간척사업이 시행되었다. 이로 인하여 많은 갯벌이 상실되었으며, 서울과 인천과 같은 대도시에 근접하여 한강 및 각종 하천에서 유입되는 토사나, 염류, 유기물, 오염물등에 영향을 받고 있다.

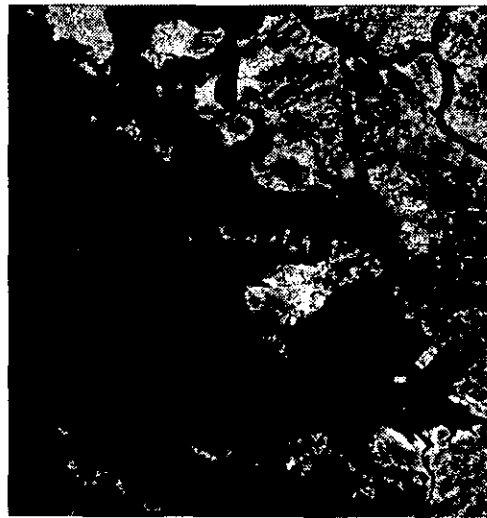


그림 1. 연구 지역의 Landsat TM data (1999년 3월 2일)

### 2) 연구 자료

갯벌의 지형을 정확히 파악하기 위해 위성영상 촬영시에 갯벌이 최대한 노출되어 있는 영상을 자료로 사용하여야 한다. 또한 연구지역의 범위와 목적에 있어 주사폭, 분광해상도, 공간해상도, 반복촬영주기의 측면에서 만족할 조건을 지니고 있어야 한다. 이런 측면에서 Landsat TM과 MSS 영상은 이번 연구의 조건을 충족시킨다.

먼저 5~8년 정도의 시기별 차이를 가지는 구름이 적은 Landsat TM과 MSS 영상들을 검색한 후, 영상의 날짜 및 촬영 시간에 맞는 조위를 계산하여 각 시기의

최저조위에 해당하는 영상들을 선정하였다. 각 연도별 조위자료는 인천 지역을 기준으로 하였으며, 해양조사원으로부터 제공받았다. 이 자료를 최소제곱법을 이용한 4차 보간 다항식(1)을 적용하여 각 시기의 영상 촬영 시각에 해당하는 조위를 산출하였다.

$$E = \sum_{i=1}^8 [y_i - (ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e)]^2 \quad (1)$$

$((x_i, y_i) \mid i=1, 2, \dots, 8), x_i = \text{시간}, y_i = \text{조위}$

표 1. 사용된 다중시기 Landsat 위성영상

위성/Senser	날짜/시간	조위
Landsat1 MSS	1973. 2.16 10:45:51	37.2cm
Landsat3 MSS	1979.10. 4 10:29:00	79.6cm
Landsat5 TM	1986. 1. 9 10:38:30	57.0cm
Landsat5 TM	1991.10.22 10:34:40	51.7cm
Landsat5 TM	1999. 3. 2 10:50:00	54.9cm

### 3. 연구 방법

#### 1) 갯벌의 면적 변화

선정된 각 시기의 영상들에 전처리 과정인 기하보정을 수행하여 지도좌표로 변환하였다. 가장 최근시기의 영상을 1:5000 축척 지형도에서 선정한 기준점(ground control points)을 이용하여 좌표변환식을 산출하였고, 이를 적용하여 지상좌표로 등록시켰다. 그리고 먼저 변환된 영상을 기준으로 하여 나머지 네 영상을 기준영상에 맞게 재배열(resampling) 하였다.

물은 가시광선영역의 파장대에서는 낮은 분광반사치를 보이며, 근적외선 파장영역에 이르러서는 거의 분광반사치를 보이지 않는 특성을 지닌다. 이러한 특성을 이용하여 근적외선 파장영역 또는 중적외선 파장영역을 사용하여 쉽게 물과 갯벌을 구별할 수 있다. 근적외선 파장영역보

다 중적외선 파장영역에서 좀 더 뚜렷한 경계추출이 가능하나, MSS 영상에서 중적외선 파장영역을 포함하지 않기 때문에 본 연구에서는 두 영상에서 모두 사용 가능한 근적외선 밴드를 사용하였다(그림 2).

각 시기의 영상에서 물과 갯벌의 경계가 잘 나타나도록 대비효과를 강조한 후, Sobel filtering을 적용 물과 갯벌의 경계를 추출하여 벡터화하는 과정을 수행하였다. 육지와 갯벌의 경계는 스크린 디지털 이징 방법을 사용하였으며, 가시광선, 근적외선, 중적외선 밴드를 이용한 효과적인 칼라합성영상을 사용하여 최대한 정확한 결과를 도출하도록 하였다.

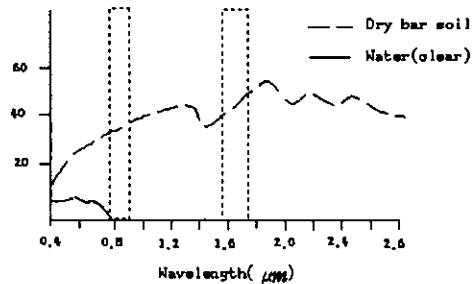


그림 2. Soil과 Water의 전형적인 분광 반사곡선

다 시기별 영상에서 추출된 수면, 갯벌, 육지에 해당하는 벡터라인을 해당 시기별로 통합하여 수정 보완한 후, 수치지도로 제작하였고, 이를 통하여 갯벌의 면적을 산출하였다.

#### 2) 갯벌의 변화 유형 및 변화 요인 분석

제작 완료된 각 시기별 수치지도들을 중첩하여 변화 유형과 변화 요인을 파악하였다. 영상에서 추출하고자 하는 요소가 갯벌과 육지, 수면의 세가지이므로, 간단히 1973년부터 1999년까지의 두 시기의

변화를  $(3^2 - 3) = 6$  가지수의 변화로 분류할 수 있다. 즉 수면으로부터 갯벌과 육지로 변화된 유형과, 갯벌로부터 수면과 육지로의 변화된 유형, 육지로부터 수면과 갯벌로 변화되는 유형이다. 이런 방식을 다섯 시기별로 적용시키면  $(3^5 - 3) = 240$  가지의 복잡한 변화 유형이 나오게 된다. 결과적으로 대부분의 지역에서 위에서 설명한 여섯 가지 변화유형을 보일 것이나, 일부 지역에서는 조류에 따른 토사의 이동이 활발하여 갯벌의 형성과 소멸이 빈번한 동적인 변화패턴을 보이는 지역이 존재할 것이다.

변화 요인은 인공적인 요인과 자연적인 요인으로 분류할 수 있다. 인공적인 요인은 신도시, 공단, 항만, 공항, 해안도로 건설 및 경작지 조성과 같은 개발과 간척 사업등을 들 수 있으며, 자연적인 요인은 조류운동, 유입하천의 영향등을 생각할 수 있다. 또한 다섯 시기 자료의 중첩과정에서 영상판독, 기하보정, 경계선 추출등의 오차로 인하여 변화로 잘못 판단되는 지점이 있을 수 있다.

#### 4. 연구 결과

경기만 지역의 갯벌에 대한 면적변화는 표 2와 같다. 1973년에 1,080.37 km<sup>2</sup>에 해당하는 갯벌 면적이 1999년에는 712.72 km<sup>2</sup>로 감소하여, 1973년을 기준으로 무려 34%나 감소하였다. 이는 26년 사이에 1/3이 줄어든 것으로 얼마나 많은 갯벌이 간척과 개발사업으로 매립되었는지를 보여주는 것이다. 특히 1991년과 1999년 사이에 170.30km<sup>2</sup>의 갯벌 면적이 줄어들어 그 감소비율이 증가하였는데, 이는 영종도 신공항 건설, 송도 신도시 건설, 시화호 매립, 대부도와 제부도 부근의 대규모 간척

사업이 그 원인으로 파악되었다.

표 2. 1973년과 1999년 사이의 갯벌의 면적 변화와 감소율

날짜	갯벌면적	감소율 (1973년 기준)
1973. 2.16	1080.37 km <sup>2</sup>	100.00 %
1979.10. 4	995.35 km <sup>2</sup>	92.13 %
1986. 1. 9	950.86 km <sup>2</sup>	88.01 %
1991.10.22	883.02 km <sup>2</sup>	81.73 %
1999. 3. 2	712.72 km <sup>2</sup>	65.97 %

1973년에서 1999년까지 경기만 갯벌 지역의 대표적인 변화유형과 변화요인을 연계하여 살펴보면 다음과 같이 정의된다.

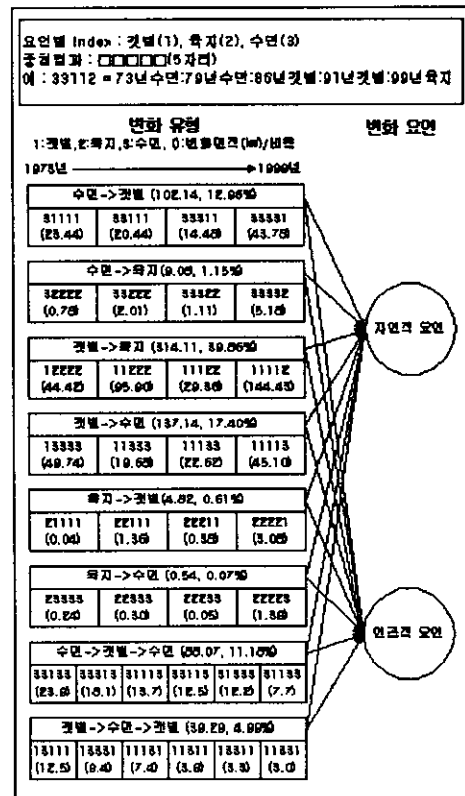


그림 3. 갯벌의 변화유형과 변화요인

그림 3.에서 정의된 8가지의 유형 중 6가지의 단순 변화 유형은 중간에 다른 요소로 변동되지 않고 다른 한 요소로만의 변화를 의미하며, 2가지의 동적인 변화 유형은 수면과 갯벌이 반대로 변환되었다가 다시 본래의 모습으로 환원되는 것을 의미한다. 그래서 총 8가지 변화유형, 세부적으로는 36가지의 변화유형이 경기만 갯벌지형의 변화를 대표하게 된다. 연구지역의 총 면적 4836.86km<sup>2</sup> 중 변화된 지역의 면적은 788.08km<sup>2</sup>이며, 이 중 8가지의 변화유형이 차지하는 면적은 695.19km<sup>2</sup>로서 총 변화면적의 88.21%를 차지한다.

8가지의 변화유형은 자연적인 요인, 인공적인 요인과 연관되어 변화된 것으로, 대표적인 유형을 살펴보면 가장 많이 변화된 갯벌에서 육지로의 변화 중 11112 (144.43km<sup>2</sup>)는 1973년부터 1991년까지의 영상에서는 갯벌이었다가, 1999년 영상에서는 육지로 나타난 유형으로 영종도 신공항, 송도 신도시, 시화호 일대의 간척사업과 같은 인공적인 요인이 작용하여 변화된 것으로 볼 수 있다(그림 4.).



그림 4. 인공적 요인에 의한 갯벌에서 육지로의 변화유형 (빗금표시지역)

또한 33331(44.42km<sup>2</sup>)은 1991년까지 수면이었다가 1999년 영상에서부터는 갯벌로 나타난 유형으로 한강하구와 장봉도 서쪽에서도 일부 발견되는데 이는 유입하천의 토사등에 의한 퇴적작용에 의해 생성된 것으로 보인다(그림 5.).

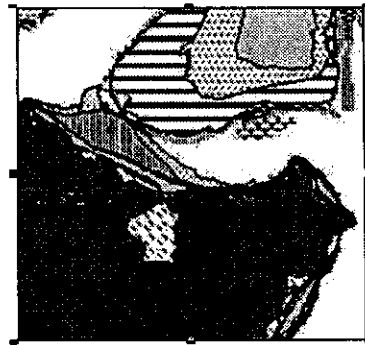


그림 5. 자연적 요인에 의한 수면에서 갯벌로의 변화유형 (빗금표시지역)

특색 있는 변화 지역으로 동적인 변화가 발생하는 지역을 볼 수 있는데, 31113(13.66km<sup>2</sup>)은 1973년에 수면에서 갯벌로 변화된 후, 다시 1999년에 수면으로 변화된 지역으로 장봉도 서쪽과 교동도 북쪽에 나타나는 것을 관찰할 수 있다. 이것은 한강에서 유입되는 조류의 퇴적과 침식작용과 같은 자연적인 요인에 의한 것으로 여겨진다(그림 6.).

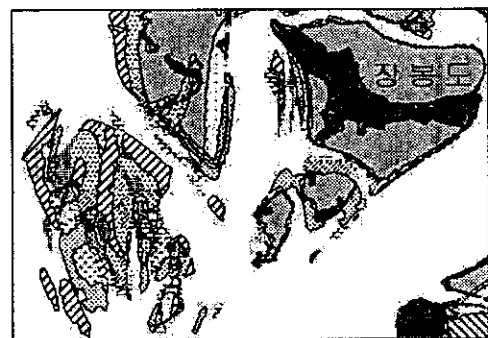


그림 6. 동적인 갯벌지형의 변화유형 (빗금표시지역)

오차에 의한 요인에 의해 발생된 변화 유형은 23223과 같이 육지와 수면이 반복되는 유형으로 다른 요소들 사이의 경계 부분에서 주로 발생된다. 그러나 실제 현

실 세계에서 거의 일어나지 않는 현상으로 전체의 변화면적에서 이러한 요인에 의한 변화는 아주 적은 부분을 차지한다.

## 5. 결론

1973년부터 1999년까지 경기만 갯벌 지형을 분석한 결과 많은 면적의 갯벌이 감소하였으며, 근래에 들어와서 그 정도가 증가하고 있는 것으로 나타났다. 또한 한강 하구지역 및 교동도 북서쪽, 장봉도 서쪽의 지역은 조류의 영향으로 침식과 퇴적이 반복되는 현상도 관찰되었다. 갯벌의 감소는 주로 개발과 간척사업에 의한 인공적인 요인에 의해 발생되었으며, 일부 지역에는 조류와 유입하천의 토사이동 및 조석운동과 같은 자연적인 요인으로 인하여 갯벌의 퇴적, 침식 또는 반복되는 것으로 나타났다. 일반적으로 연안지역의 갯벌 지형을 파악하기 위한 자료로 해도를 사용할 수 있으나, 제작기간이 길고 해도별 제작년도가 달라 지역적 또는 광역적 지역의 범위에서 동일시기의 자료를 사용하기가 어렵다는 단점을 가진다. 이에 비해 광학영상은 구름이 없는 간조시의 영상을 사용해야 한다는 어려움이 있으나, 주기적인 자료 취득이 가능하여 근적외선 이상의 파장영역을 사용할 시 갯벌 지형의 변화 모습을 관측하기 용이하다는 장점을 지닌다. 또한 남한지역이 아닌 우리나라 전체 연안지역의 갯벌지형에 대한 변화분석이 가능하다.

Landsat MSS와 TM은 과거에서부터 촬영된 많은 자료를 보유하고 있으며, 공간 해상력이 30m와 80m로 지역적인 범위의 변화분석을 수행하는데 효과적인 성과를 얻을 수 있다. TM 영상들만을 이용한 갯벌지형의 변화분석을 수행한다면, 분광과 장영역의 반사 특성상 더 명확한 차이를

보이며 대기의 영향을 덜 받는 중적외선 밴드를 사용하는 것이 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

도시와 확장과 산업화의 진행으로 환경 파괴가 날로 심각해지고 있으며, 매립된 토지의 가치만 중시되는 개발논리로 인하여 해양생태계의 보고인 갯벌의 면적이 급속도로 감소하고 있다. 앞으로 자원의 개발보다는 보존과 관리에 관심을 기울이는데 노력해야 할 것이며, 원격탐사기술은 이러한 자원을 관리하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

## 참고 문헌

- Chen, L.C. and J.Y. Rau, 1998, Detection of Shoreline Change for Tideland area using Multi-temporal Satellite Image, *INT. J. Remote Sensing*, Vol. 19, No. 17, 3383-3397
- Darkwah, S.O., C. Deguchi, S. Sugio and M. Kunitake, 1998, Using Satellite imagery for Detecting Beach Changes and A Simple Routine for Tidal Correction, *Int. Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments*, San Diego, pp.214-221
- Won J.S, J.H. Ryu, W.J. Cho, 2000, A Study on Geomorphological Change in Tidal-flat using Multisource Remote Sensed Data : A Case Study in the Gomso Bay, Korea, *Proc. IEEE 2000*
- 해양수산부, 2000.9, 위성영상을 이용한 연안변화탐지 기술개발 용역
- 홍재상, 1998, 한국의 갯벌