

## Landsat TM 자료와 표층퇴적물 분석을 통한 천수만 간석지 퇴적물 분류

장동호\* · 지광훈\* · 이현영\*\*

한국지질자원연구원\*, 건국대학교\*\*

## Classification of Tidal Flat Deposits in the Cheonsu-bay using Landsat TM Data and Surface Sediment Analysis

Dong-Ho Jang\* · Kwang-Hoon Chi\* · Hyun-Young Lee\*\*

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources \*, Konkuk University\*\*

### Abstract

This study aimed at verifying the grain-sized distribution of surface deposits in a tidal flat using multi-spectral Landsat TM. In this study, we employed the grain-sized analysis, PCA and unsupervised classification techniques for analyzing the distribution of deposits. As a result in this study, the unsupervised classification method using PCA image was found to be most useful in classifying tidal flat deposits using satellite data. This method is considerably effective in analyzing not only the aspects of distribution in terms of accumulated deposits and erosion, but also the changes in seaside topography and shoreline. The grain-sized distribution analysis indicates that the mud flat inside the *Cheonsu-bay* tidal flat is distributed, the mixed flat located in the middle, and the sand flat distributed near the sea. The sand flat is dominant around the southern part of *Seomot* isle and its beach. On the other hand, the mud and mixed flat is dominant on the western part. Likewise, the western coast of *Seomot* isle and its beach is significantly affected by waves facing the offshore. However, the eastern side of the bay could be a site for the evolution of tidal flat made of fine materials where it is less affected by ocean waves. These results show that multi-spectral satellite data are effective for the classification of distribution materials and environmental impact assessment and continuous monitoring. In particular, the research on environmental deposits can provide important decision-supporting information for decision-making on seaside development, by analyzing the progress of deposits and environmental changes.

Key words : tidal flat, Cheonsu-bay, Landsat TM, PCA, unsupervised classification, deposits

## I. 서론

간석지 또는 갯벌은 조류에 의하여 운반되는 점토·실트 등의 미립물질이 파랑의 작용을 적게 받는 해안에 퇴적됨으로써 생기는 평탄한 지형을 가리키는데(Zenkovich, 1967), 한국 서해안은 조차가 크고 경사가 완만하여 규모가 넓은 간석지가 발달하였다. 본 지형은 해안선의 특색을 이루는데 큰 역할을 할뿐만 아니라, 양식장, 염전, 농경지 등으로 널리 개발되고 있기 때문에 연안환경 측면에서도 매우 중요한 지역이다(권혁재, 1974).

일반적으로 간석지의 퇴적작용에 영향을 미치는 요인은 퇴적물의 종류, 조류와 파랑에너지, 연안지형, 간석지의 경사, 생물의 종류 등이 있다(Klein and Sanders, 1964). 이들 요인들은 지역에 따라 다르게 나타나므로 간석지 퇴적물의 분포는 지역적으로 많은 차이를 보인다. 따라서 최근의 인위적인 환경변화에 따른 간석지의 퇴적 메커니즘을 규명하기 위해서는 간석지 내의 퇴적지형을 분류하고, 조성물질을 분석할 수 있는 장기적이고 지속적인 관측기법이 필요하다. 그러나 현재 간석지에 관한 장기적이며 지속적인 변화관측은 대부분 현장조사에만 의존하고 있는데 이 방법은 급속한 변화에 대응하지 못할 뿐만 아니라, 경제적인 측면에서도 바람직하지 못하다(원중선·유홍룡, 1995). 따라서 원격탐사기법의 장점인 광역성, 동시성, 주기성, 경제성 등을 이용하여 간석지 및 해안선 등의 연안환경을 연구한다면 당면한 환경 문제 해결에 도움이 될 수 있을 것이다.

한편, 간석지 퇴적환경과 관련된 많은 연구는 직접 현장에서 실측을 통한 연구들이 대부분이나(Allen *et al.*, 1980; Hart and Long, 1990; Parkinson, 1994), 원격탐사기법에 의한 연구도 상당수 진행되고 있다. 예컨대, Crist and Cicone(1984)는 Landsat TM 자료를 Tasselcap 변환을 통하여 첫 번째 성분이 토양의 휘도와 같은 총반사율을 나타낸다고 하였다. 또한 세 번째 성분으

로 토양의 수분함량과 관련된 함유량을 구할 수 있다고 하였다. Swain and Davis(1978)는 퇴적물 반사율 측정을 통하여, 퇴적물 입자의 크기와 함수비 사이의 관계는 퇴적물 반사도 형태에 중요한 역할을 한다고 보고하였다. Vincent(1997)는 입자크기와 반사도와의 관계를 밝혔는데, 입자가 작은 퇴적물이 입자가 큰 퇴적물보다 반사도가 큰 것으로 파악하였다. 위성영상과 수분함수율과의 관계에 대한 연구로는 Shuchman(1981), Alicia and Susan(1998) 및 Etienne and Henri(2000) 등의 연구가 있다. 이들 연구들은 Landsat 영상의 DN 값과 현장 퇴적물과의 선형회귀식을 통하여 함수비를 추정하였다. 이밖에 Muller(1993)는 SPOT과 Landsat TM 자료의 이미지 합성을 통하여 clay, silt, silt clay, sand 등을 분류하였다.

우리나라의 경우에는 1970년대 말부터 원격탐사기법에 의한 간석지 퇴적환경 연구가 시작되었으나 본격적인 연구는 1990년대에 이르러 활발해졌다. 간석지 변화에 대한 초기 연구로는 박동원(1976)의 연구가 있는데, 그는 MSS 밴드 4, 5, 6을 칼라 합성하여 육안분석으로 천수만 간석지의 지형을 분류하고, 갯골지형을 조사한 것을 들 수 있다. 조화룡과 조명희(2000)는 Landsat TM 영상을 이용하여 줄포만 간석지의 미지형을 무감독분류기법인 ISODATA 기법으로 분류하였다. 이밖에 박성우(2001)는 Landsat TM 위성영상을 밴드 조합 방식을 이용하여 강화도 남단의 갯벌을 분류하고, 지형변화 등을 분석하였다.

이상의 국내·외 원격탐사 기법을 이용한 연구들은 해안지역의 퇴적지형 분류 및 해안선 변화를 대상으로 한 것으로 각각의 연구에서 도출된 결과는 상이하게 나타나는데, 이는 연구대상지역의 환경, 자료의 해상도 및 분석기법 등이 다르기 때문이다. 따라서 간척사업으로 인한 연안 간석지의 퇴적지형을 분류하고, 지속적으로 모니터링할 수 있는 분석기법이 개발되어야 할 것이다.

이러한 배경에서 본 연구에서는 한국의 중요한

연안환경의 하나인 간석지 퇴적환경을 규명하기 위하여 위성영상 자료와 현장조사를 병행하여 천수만 간석지 표층퇴적물의 조성물질을 분석하고자 하였다.

## II. 연구지역, 자료 및 방법

### 1. 연구지역

연구해역인 천수만은 서해 중부(북위 36°23' 15"~36°39' 45", 126°19' 27"~126°31' 38")에 위치한 천해성 내만으로 안면도와 육지로 둘러싸여 있다. 행정구역상 보령시 주교면·오천면·천북면, 홍성군 서부면·갈산면, 서산시 부석면, 태안군 남면·안면읍, 고남면을 포함하는 지역이다(Fig. 1).

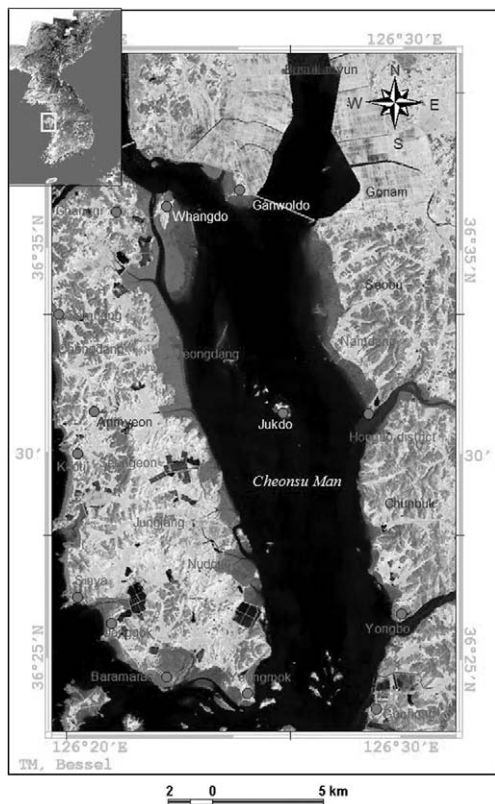


Fig. 1. Study area (Landsat TM image of 1996. 9. 1)

천수만은 후빙기 해수면 상승에 따라 침수되어 형성된 만으로(박동원, 1976), 본래 만의 길이가 약 40km, 만 중앙부의 최대 폭은 약 10km이었다. 현재는 서산 간척사업으로 인해 남북 방향의 길이가 29km, 동서 폭이 약 8km로 감소하였다. 만의 중심수로는 대천 앞 바다에 발달된 깊은 수로와 연결되어 있어 천수만 연안의 간석지 지형변화는 인접 해역의 조건과 함께 변화하였다. 특히 1983~1985년 사이에 완료된 서산 A·B지구 간척사업은 천수만 지역의 해안선과 인접지역의 퇴적 메커니즘을 변화시켰다.

천수만 연안의 지질은 선캠브리아기의 태안층군에 속하는 변성퇴적암류와 경기변성암 복합체, 그리고 이들을 관입한 주라기말 대보화강암과 백악기 및 시대미상의 관입암류로 구성되어 있다(한국자원연구소, 1996). 전체적으로 태안층군에 속하는 편마암류가 대부분을 차지하고 있으며, 화강암류와 편암류가 일부지역에 분포한다. 조석은 반일주기형이며, 조수간만의 차가 크다. 조차가 조금에는 2.8m, 사리에는 6.4m이고, 평균조차는 4.6m에 이른다. 광천만으로 통하는 만의 입구는 큰 조차와 천수만으로 드나드는 조수 때문에 조류가 매우 빠르다. 조류의 평균속도는 밀물일 때 0.8m/sec, 썰물일 때 0.9m/sec이다. 조류의 방향은 양안을 따라서 나타나는데, 홍성군과 죽도 사이로 밀물길이 형성되고 안면도 쪽으로 썰물길이 나타난다. 즉 만의 입구에서 밀물 시에는 북쪽으로, 썰물 시에는 남쪽으로 흐르고 밀물과 썰물은 비대칭으로 나타난다(국립지리원, 1980).

본 연구지역은 조류, 파랑 등의 해양환경과 지형적인 조건이 간석지 발달에 적합하여 해안을 따라 간석지가 넓게 발달하였다. 이들 간석지의 기저면은 경사가 완만한 파식대로 이루어져 있는 지역도 있으며, 일부 지역에서는 퇴적층의 두께가 얇아서 파식대가 그대로 노출된 곳도 나타난다(박동원, 1976). 현재 천수만의 양안을 따라서는 간척사업이 이루어지고 있어서 갯벌의 면적이 감

소하고, 주변 생태계에도 영향을 미치고 있다.

## 2. 연구방법 및 자료

본 연구에서는 천수만 간석지 퇴적물의 조성물질을 분류하기 위하여 현장에서 시료를 채취하여 입도분석을 실시하였다. 또한 위성영상을 이용하여 간석지 조성물질 분류기법을 개발하기 위하여 다음과 같은 연구방법을 활용하였다(Fig. 2).

간석지 조성물질 분석은 일차적으로 현장에서 퇴적물 시료를 채취하여 입도분석을 실시하였다. 시료채집은 총 50개 지점(Fig. 3)에서 퇴적물의 유형에 따라 적절한 양의 표층퇴적물 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 실내에서 자연 건조시킨 후,  $63\mu$ 의 체를 사용하여 습식 분석하여 빨과 모래 및 자갈로 분리시켰으며, 모래와 자갈은  $1\phi$  간격으로 건식 분석하여 입도별 중량백분율을 구

하였다. 입도 분류는 Wentworth의 구분법을 사용하여 분석하였다(Wentworth, 1922). 평균입도에 의한 퇴적물의 분류는 자갈, 모래 및 빨(실트 및 점토)의 함량에 의한 퇴적물의 유형분류인 Folk, *et al.*(1970)의 삼각도표 방법을 이용하였다.

다중분광 위성자료로는 Landsat TM(Thematic Mapper)을 이용하였으며, 주사시기는 1996년 9월 1일 이다. 다중분광 위성자료로부터 간석지 퇴적 환경 변화를 분석하기 위해서는 자료의 표준화가 필요하다. 먼저 위성자료의 표준화를 위해 기하학적보정을 실시하였다. 보정에 사용된 지형도는 1:25,000 지형도이며, 영상 대 지도(Image to Map) 방법을 이용하여 정합(整合)시켰다. 변환식은 Affine 변환식으로 좌표 변환하였으며, 재배열(resampling) 방법으로는 최근린법(nearest neighborhood)을 적용하였다.

다음으로 본 연구에서는 입도조성에 의한 퇴적

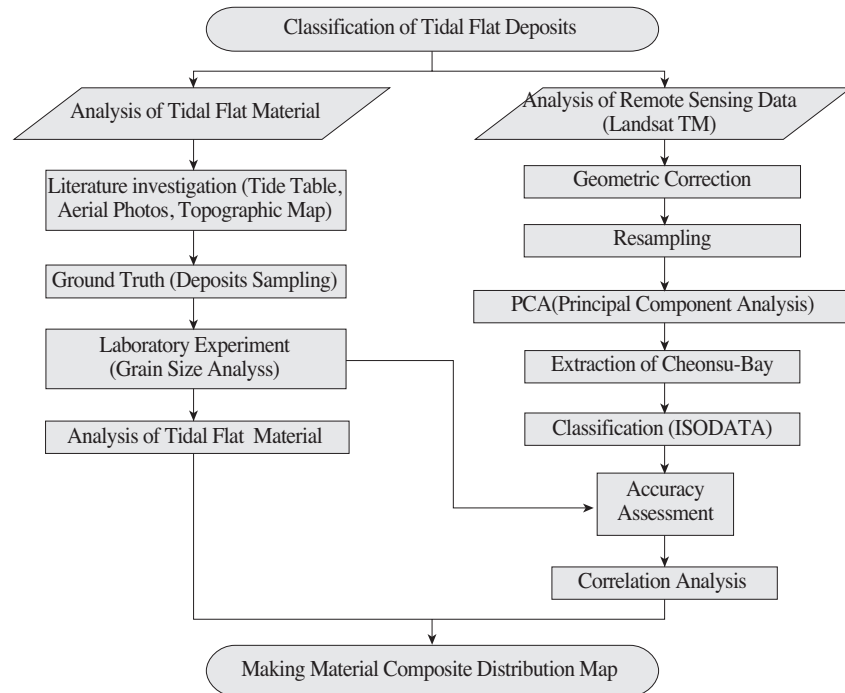


Fig. 2. Procedure for classification of tidal flat deposits in coastal area

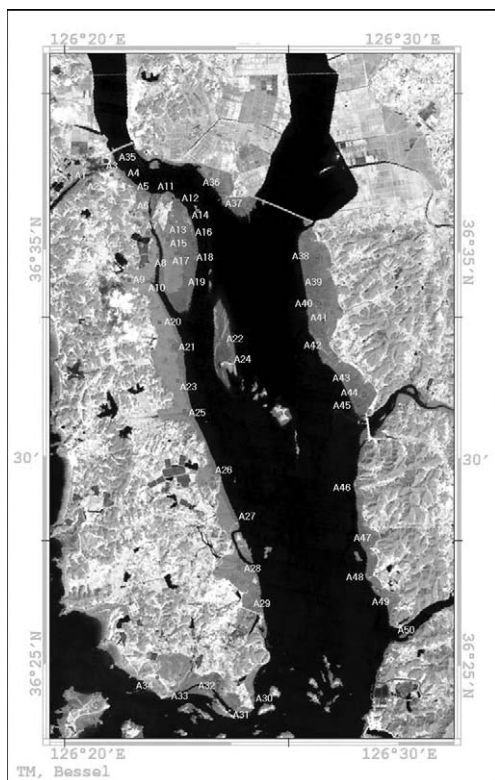


Fig. 3. Sediments samples site superimposed on Landsat TM (■ : Sample Sites)

물 분류에 주성분분석(Principal Component Analysis)을 사용하였다. 일반적으로 주성분분석은 원격탐사에 있어 자료선별, 잡음분리, 변화지역 추출 등에 자주 활용되는 다중영상강조 처리 기법이다(Lillesand, *et al.*, 1994). 그 기본 원리는 밴드로 구성된 원래 자료의 최대분산방향과 최소분산방향에 일치되도록 좌표축을 이동, 회전시키고, 자료의 평균값을 새로운 좌표축의 원점으로 하여 원래의 자료를 새로운 K차원의 자료로 변환, 밴드간의 공분산을 극대화시키는 방법이다. 특히 주성분분석은 데이터를 압축하는 효과를 가지므로 많은 분광대를 효율적으로 처리할 수 있는 분석방법이라 할 수 있다. 따라서 퇴적물분석 뿐만 아니라 수질분석, 식생조사, 영상잡음 제거, 다중시간 자료분석, 영상합성 등에 사용되며, 분

류정확도 향상기법에도 응용된다.

또한 본 연구에서는 연구지역의 간석지 분류시의 오차 및 자료처리 시간을 줄이기 위해 육상부분을 마스킹(masking)처리하여 천수만 해역을 추출하였다. 이렇게 처리된 영상을 무감독분류(unsupervised classification)한 후, 현장실측 자료와의 상관관계 분석을 통한 간석지 조성물질 분류도를 작성하였다. 무감독분류기법은 퇴적물질 분류에 자주 사용되는 ISODATA(Iterative Self Organizing Analysis Technique) 분류기법을 이용하였다(조화룡과 조명희, 2000).

### III. 간석지 조성물질 분류

#### 1. 주성분분석을 통한 영상처리

본 연구에서는 Landsat TM과 입도분석 자료를 이용하여 간석지 퇴적물을 분류하였는데, 기존의 연구(조화룡 외, 2000)에 의하면 여러 무감독분류 방법 중에서 ISODATA 분류법이 간석지 분류에 우수하다고 보고하였다. 본 연구에서도 밴드별 위성영상을 ISODATA 분류법을 적용하여 천수만 연안일대의 입도조성 해석에 기초한 간석지 분류도를 작성하였다. 그 결과 비교적 정확한 분류도를 작성할 수 있었지만, 분류결과를 현장조사와 비교 검토한 결과, 안면도 서쪽 사빈 전방의 사질 간석지가 점토질 간석지로 분류된 것이 발견되었다(장동호 외, 2002). 이것은 Landsat TM 자체의 공간분해능력의 문제일 수도 있고, 지표함수율의 차이에 기인한 것일 수도 있다. 또한 입력자료로 사용된 각각의 밴드들이 실제로 간석지 정보분석에 유용한 밴드도 있지만 그렇지 않은 경우도 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고 분류의 정확도를 높이기 위해 주성분분석을 수행하였다.

본 연구에서는 Landsat TM의 7개 밴드 중에서

Table 1. Correlation matrix between Landsat TM bands(1996. 9. 1)

Band	1	2	3	4	5	7
1	1					
2	0.86	1				
3	0.79	0.95	1			
4	-0.17	0.25	0.29	1		
5	0.17	0.53	0.61	0.88	1	
7	0.38	0.67	0.76	0.71	0.95	1

Table 3. Eigenstructure of PCA results using Landsat TM data(1996. 9. 1)

Eigenchannel	Eigenvalue	Deviation	%Variance	Σ%Variance
1	3113.8500	55.8019	87.53%	87.53%
2	373.3238	19.3216	10.49%	98.02%
3	55.3496	7.4397	1.56%	99.58%
4	9.1336	3.0222	0.26%	99.84%
5	4.4986	2.121	0.13%	99.97%
6	1.197	1.0941	0.03%	100.0%

열외선 밴드를 제외한 6개 밴드에서 얻어진 복사휘도 값을 주성분분석 하였다. 우선 주성분분석을 하기 위해서는 다중 분광밴드 간에 상관관계를 밝혀내야 한다. 다음은 1996년 9월 1일 전체 연구지역에 대한 각 밴드별 상관관계를 나타낸 것이다(Table 1).

Table 1을 보면 밴드 1과 밴드 2, 3이 높은 상관관계가 있고, 밴드 2와 3, 밴드 4, 5 및 밴드 5, 7 역시 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

Table 2에서 보듯이 제1주성분영상(PC 1)과 밴드 4, 5가 가장 높으며(0.97), 다음으로 밴드 7이 0.86으로 높은 상관관계가 나타난다. 즉 적외선 영역의 분광대에서 상관관계가 높음을 알 수 있다. 제2주성분영상(PC 2)은 Band 1과 높은 상관관계가 있으며, 이밖에도 Band 3과도 0.8 이상 상관관계가 있음을 알 수 있다. 제3주성분영상(PC 3)은 가시광선대 밴드와 약간의 상관관계가 있으며, 나머지 제4주성분영상(PC 4), 제5주성분영상(PC 5), 제6주성분영상(PC 6)은 분광대와의 상관

Table 2. Correlation matrix between PC image and Landsat TM image

Band	1	2	3	4	5	7
Band 1	0.01	-0.87	0.40	0.28	0.03	-0.05
Band 2	0.41	-0.77	0.44	0.05	0.01	0.17
Band 3	0.47	-0.81	0.30	-0.16	0.01	-0.03
Band 4	0.97	0.24	0.08	0.01	-0.01	0.01
Band 5	0.97	-0.23	-0.10	0.01	0.02	-0.01
Band 7	0.86	-0.47	-0.11	0.01	-0.15	-0.01

Table 4. Eigenvectors of covariance matrix

PC \ Band	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
PC 1	0.00163	0.04061	0.10315	<b>0.74728</b>	<b>0.62444</b>	0.19838
PC 2	-0.36335	-0.21746	<b>-0.51250</b>	<b>0.52445</b>	-0.42715	-0.31706
PC 3	0.43800	0.32815	<b>0.49819</b>	0.39114	<b>-0.50980</b>	-0.19850
PC 4	<b>0.75522</b>	0.07970	<b>-0.64377</b>	0.01705	0.05518	0.07433
PC 5	0.09739	0.00922	0.04297	-0.10401	0.40334	<b>-0.90282</b>
PC 6	-0.31032	<b>0.91485</b>	-0.24945	-0.04924	0.04473	-0.01035

성이 있다고 보기 힘들다.

Table 3 및 Table 4는 주성분분석 결과이다. Table 3에서 제1주성분(PC 1)과 제2주성분(PC 2)의 분산 값의 합은 98% 이상으로 대부분의 지표 정보가 PC1과 PC2에 포함된다.

Fig. 4는 주성분분석된 영상을 나타낸 것이다. 먼저 Fig. 4(a)는 1996년 9월 1일의 주성분분석된 PC 1 영상으로 반사율과 지형을 많이 반영한다. PC 1은 적외선 파장대 영상과 비슷하며, 6개 밴드로부터 정보를 고르게 가지고 왔다. 특히 밴드 4와 5로부터 더 많은 정보를 포함하고 있지만, 밴드 1로부터는 상대적으로 적은 양의 정보를 갖게 되기 때문에 산림지역 및 수역이 어둡게 나타난다. 따라서 본 영상은 지형의 효과가 잘 나타나서 간석지 퇴적물 분류에 사용하였다.

Fig. 4(b)는 PC 2 영상으로 다른 주성분 영상보다 간석지 퇴적물간의 특징을 명확하게 나타나고 있다. 전체적으로 PC 1의 역상이미지로 나타나며, 밴드 4로부터 가장 많은 정보량을 갖고 있

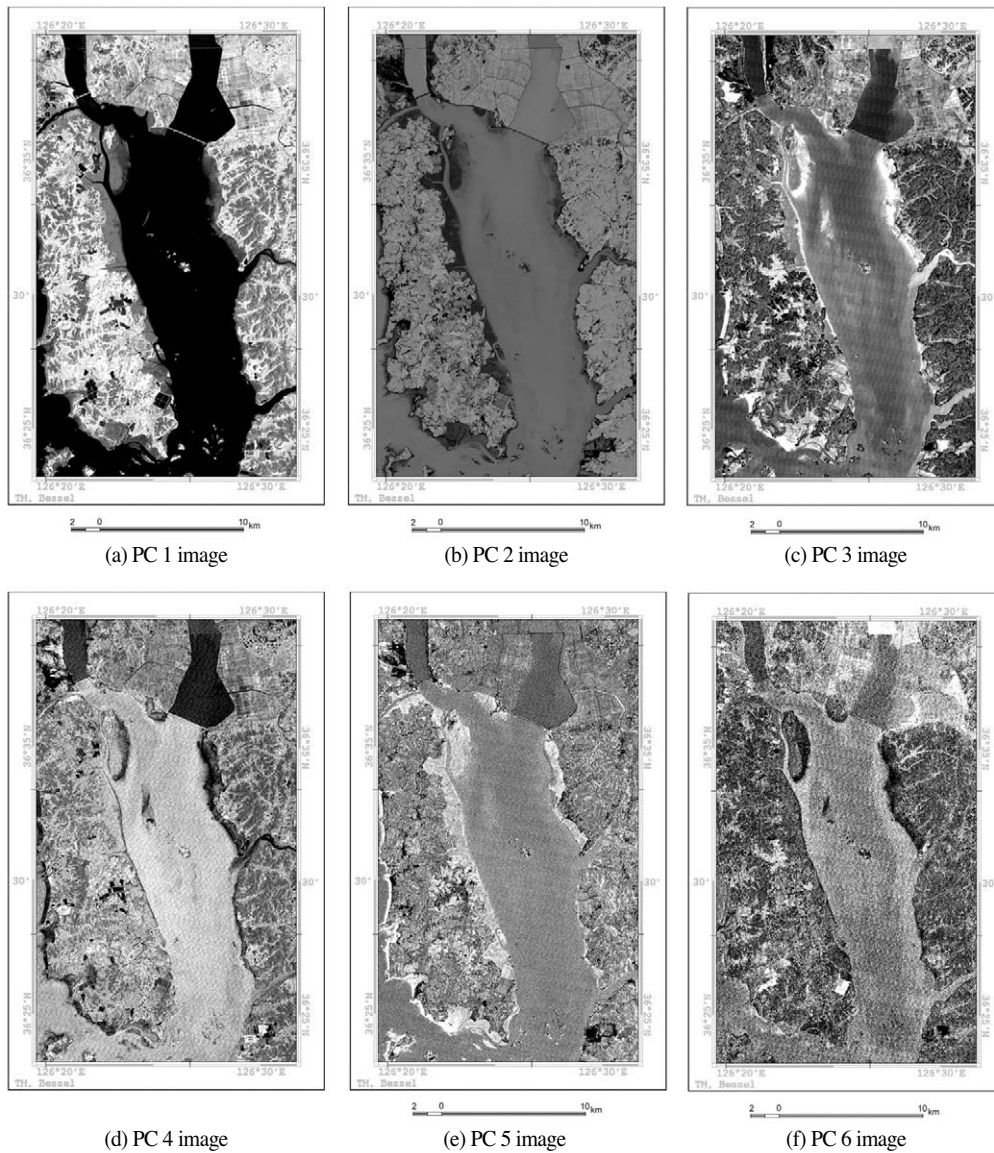


Fig. 4. The result of principle component analysis

다. 또한 밴드 3 역시 0.5 이상의 값을 포함하고 있다. 간석지 및 사빈 퇴적물들과 육상지역의 인공구조물들이 어둡게 나타나고 있어서 지형분류에 효과적이어서 퇴적물 분류에 사용하였다.

Fig. 4(c)는 PC 3 영상으로 자료의 압축이 심하게 나타난다. 그러나 밴드 3의 영향으로 해양의

정보를 많이 포함하고 있고, 밴드 5의 정보 역시 많이 함유하고 있다. 따라서 본 연구에서는 간석지 퇴적물 분류에 유용하게 활용될 수 있어 퇴적물 분류에 사용하였다.

Fig. 4(d)는 PC 4 영상으로 PC 3보다 잡음이 많으며 자료가 많이 압축된 영상이다. 밴드 5의

정보를 많이 함유하고 있어서 도로망, 학교, 고층 건물 등이 잘 인식되며, 수계망 분석에 효과적이다. 본 연구에서는 사질 및 점토질 간석지의 구분이 명확하여 퇴적물 분류에 사용하였다.

Fig. 4(e)는 PC 5 영상으로 밴드 7의 정보를 많이 함유하고 있고, 사질간석지 구분에 유용하다. 그러나 자료의 잡음이 심하여 본 연구에서는 퇴적물 분류에 사용하지 않았다. Fig. 4(f)의 PC 6 영상은 지형 및 지질 분석에는 적합하지만 잡음 및 자료압축이 심하여 퇴적물 분류에는 사용하지 않았다.

## 2. 간석지 조성물질 분류

본 연구에서는 주성분분석 결과 중 PC 1~PC 4 자료를 가지고 무감독분류기법인 ISODATA 방법으로 분류를 하였다. 정확도를 높이기 위해 육상을 마스킹 처리한 자료를 이용하였다. 분류 클래스는 총 7개의 클래스(해양, 점토, 혼성, 사질(I), 사질(II), 사빈, 육상)로 분류하였다.

Table 5는 각 클래스별 면적 및 통계값을 나타낸 것이다. 각 분류항목별 DN 값을 보면 해양은 PC 1의 값이 가장 낮으며, PC 4가 가장 높다. 점토는 PC 3에서 표준편차 값이 가장 크고, 혼성간석지에서도 PC 3영상이 가장 편차가 크다. 이밖

Table 5. Descriptive statistics of principle components

CLASS		PC	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	Area: km <sup>2</sup> (%)
1996. 9. 1.	Ocean	Mean(DN)	63.2	127.3	126.3	128.9	179.96
		Std.Dev	1.56	2.21	2.66	1.43	(32.67)
	Mud	Mean(DN)	138.3	88.4	129.1	127.9	10.76
		Std.Dev	4.88	4.86	5.29	2.14	(1.95)
	Mixed	Mean(DN)	121.9	100.3	134.8	125.4	16.22
		Std.Dev	5.76	5.02	7.04	2.47	(2.94)
	Sand(I)	Mean(DN)	102.59	111.8	140.0	123.6	12.84
		Std.Dev	7.36	5.14	6.72	2.41	(2.33)
	Sand(II)	Mean(DN)	164.7	87.0	120.1	127.3	3.83
		Std.Dev	11.69	12.65	7.85	3.05	(0.69)
	Beach	Mean(DN)	149.0	84.7	151.1	122.4	2.75
		Std.Dev	11.56	9.01	7.74	3.54	(0.50)

Table 6. Error matrices and accuracy assessment results of classification image

		Error Matrix							Accuracy(%)			
		reference data						total	Use's Accuracy	Producer's Accuracy	Overall Accuracy	Kappa Statistic
		Ocean	Mud	Mixed	Sand(I)	Sand(II)	Beach					
Classified data	Ocean	9	0	0	1	0	0	10	90.00	100.00	91.67	0.893
	Mud	0	15	1	0	0	0	16	93.75	88.24		
	Mixed	0	2	17	0	0	0	19	89.47	89.47		
	Sand(I)	0	0	1	6	0	0	7	85.71	85.71		
	Sand(II)	0	0	0	0	4	0	4	100.0	100.0		
	Beach	0	0	0	0	0	4	4	100.0	100.0		
	total	9	17	19	7	4	4	60	93.11	93.90		



에도 사질간석지, 사빈에서는 PC 1영상이 편차가 크고, 역질간석지는 PC 2에서 편차가 크다.

Table 6은 PC 1~PC4를 사용하여 ISODATA 분류를 수행한 결과에 대한 Error Matrix이다.

육상부분은 마스킹처리를 하였기 때문에 Error matrix에 포함시키지 않고 계산하였으며, 해양의 10개 지점은 가급적 간석지의 경계부에서 추출하여 마스킹처리된 결과와 비교하였다. 분석결과 사빈과 사질간석지(II)는 100% 정확한 분류를 할 수 있었으며, 다음으로 점토질간석지는 사용자정확도와 생산자정확도가 각각 93.75%, 88.24%로 분류의 정확도가 높았다. 가장 낮은 분류정확도를 나타낸 클래스는 사질간석지(I)로 사용자 및 생산자정확도 모두 85.71%이다. 이들 사질간석지로 분류된 지역은 실제로는 혼성간석지에 해당되는 지역이다. 특히 분류의 오차지역은 분류 클래스간의 경계부에서 발생하였다. 따라서 이러한 원인은 Landsat TM 자체의 공간분해능력 문제일 수도 있고, 지표의 함수율의 차이에 기인한 것일 수도 있다. 전체적인 분류정확도는 91.67%이고, Kappa Statistic은 0.893로 나타났다.

Fig. 5는 주성분 영상을 이용하여 ISODATA 분류로 구분한 간석지 분류도이다. 전체 면적에서 가장 많이 차지하는 class는 육지로 324.45km<sup>2</sup>로 58.91%를 차지하고 있다. 다음으로 해양은 179.96km<sup>2</sup>(32.67%), 혼성간석지는 16.22km<sup>2</sup>(2.94%), 사질간석지는 12.84km<sup>2</sup>(2.33%), 점토질간석지는 10.76km<sup>2</sup>(1.95%)이다.

간석지 클래스별 특징을 분석하여 보면, 먼저 사질 간석지에 해당되는 지역들은 크게 2가지 퇴적물 특징이 나타난다. 첫째, 창기리 복단 연안의 사질간석지는 조립질퇴적물질이 다수 포함되어 해저에서 공급되는 퇴적물이라기보다는 주변산지에서 공급된 주빙하성 퇴적물질이 대부분이다(권혁재, 1981). 이들 퇴적물은 현장에서 관찰한 결과 원마도가 극히 낮고, 표토는 적황색 내지 적색 계통의 색깔을 띠는데 장기간에 걸쳐 평탄화작용과

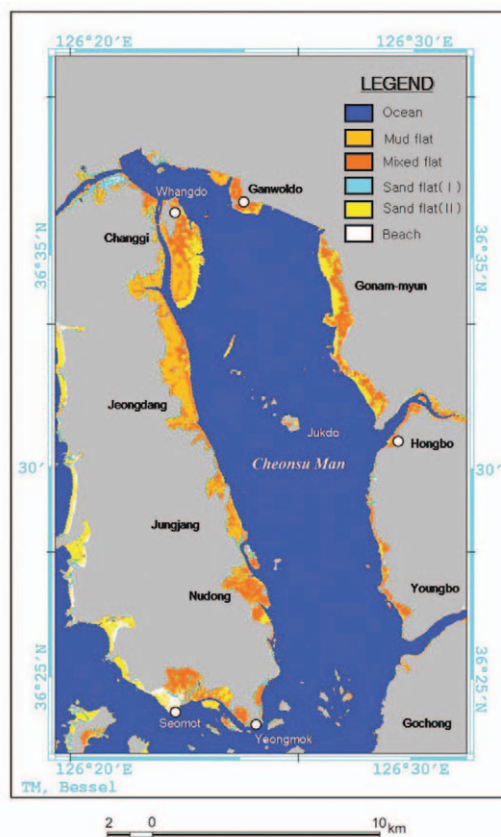


Fig. 5. Sediments class using PCA in Cheonsu- Bay

함께 풍화작용을 받은 결과이다. 따라서 본 지역의 간석지 퇴적물 기원은 선캠브리아기 태안층군에 속하는 변성퇴적암류의 육성퇴적물질을 확인할 수가 있다. 이와 비슷한 퇴적물 조성을 가진 지역으로는 안면도 서쪽 및 남쪽의 육상과 접하는 지역들이다. 둘째, 해안부근의 육성퇴적물의 공급에서 퇴적될 수도 있지만, 죽도 복단의 연안 사주상의 간석지나 황도 남단 해안에서와 같이 조류의 유속이 강하거나 난류현상이 강하게 일어나는 곳에는 실트, 점토가 퇴적되지 못하고 입자가 크고 무거운 모래만 퇴적되는 곳이 나타난다. 현장에서 확인한 결과 이들 지역들은 대부분 폭이 100m 이내이며, 연흔과 사층리 및 폭풍에 의

해 운반·퇴적된 폐각층도 일부 나타난다. 이들 사질 간석지들은 사취 및 사주의 형태로 지속적으로 성장하고 있다.

실트와 점토의 함량이 80% 이상인 점토질 간석지는 본 조사지역에서 천수만 내의 서쪽 연안의 만입지를 따라 대규모로 발달하였다. 만 외의 해저로부터 공급되는 실트나 점토가 이곳에 덮여 형성된 간석지들로 이곳에는 지속적으로 미립질 퇴적물질들이 퇴적되고 있다. 이들 지역들을 현장에서 확인한 결과 주로 사질 실트에 해당되며, 생물에 의한 교란작용으로 표면이 울퉁불퉁하다. 대표적인 지역으로는 천수만 서쪽 창기리 해안 및 황도 서쪽 해안 등이다.

혼성 간석지는 천수만 전 해역에 걸쳐 넓게 분포하고 있다. 퇴적물의 유형은 주로 실트질 모래로 구성되었으며, 평균 입도는 3.0~5.0φ이다. 현장에서 확인 결과, 이들 지역에는 소연흔이 국부적으로 분포하고, 우상 층리, 연흔 사층리가 형성되어 있으며, 교란정도가 심하다. 대표적인 지역으로는 천수만 서쪽 연안인 우포나루터 전방, 황도 남단, 누동 초등학교 서쪽 해안 및 천수만 동쪽 천북면 학성리 해안 등이다.

이상의 결과를 이용하여 간석지 특징을 분석하여 보면, 천수만의 양안을 따라서는 조류 및 파랑의 영향으로 입도조성이 다양한 간석지가 형성되었다. 천수만의 동편 서부면 쪽에는 서편 안면도 쪽 보다 사질간석지가 대규모로 발달되어 있는데, 이는 조류의 영향도 있지만, 하계 및 동계 계절풍에 따른 파랑의 영향에 기인한 것으로 판단된다. 이들 퇴적물질들은 취송거리가 최대 20km 내의 주변산지에서 공급된 육성풍화물질들이다. 현장 관찰에서도 알 수 있듯이 본 지역의 간석지의 기저면은 아주 완만한 파식대로 이루어져 있는 지역도 있고, 그 중에는 특히 퇴적층의 두께가 얇아서 파식대가 그대로 노출된 곳도 나타난다.

본 지역 간석지의 퇴적물질의 공급원은 연안의 침식물질과 해저 퇴적물질이 큰 비중을 차지하며

모래, 자갈 등의 조립물질이 풍부하다. 육지와 맞닿은 해안선에서는 기반암 위의 육성풍화물위에 퇴적되어 있으며, 여기에는 주변의 산지에서 운반된 퇴적물도 많이 포함되어 있다. 따라서 현재 간석지의 기반암 표면이 육상영역에 의해서 풍화된 다음, 조류의 영향으로 점차 간석지 퇴적물이 피복된 것으로 판단된다. 퇴적물 시료의 입자크기에 의한 분류 결과에서도 주로 연안을 따라서는 점토질 간석지가 발달하였고, 외해로 갈수록 사질 간석지의 비율이 높다.

#### IV. 토의 및 결론

본 연구에서는 현장실측 및 원격탐사 기법에 의한 천수만 연안의 간석지 퇴적물의 조성물질을 분석하였다. 특히 Landsat TM 자료를 주성분분석하여 간석지의 퇴적환경을 고찰하였는데, 그 결과는 다음과 같다.

1. 위성자료를 이용한 간석지 조성물질 분류에는 주성분분석(PCA)된 영상을 이용한 무감독분류 방법이 유용하게 적용될 수 있음을 확인하였다. 이러한 방법은 해안선과 연안지형 변화뿐만 아니라 퇴적물의 퇴적과 침식의 분포양상을 파악하는데도 효과적이었다.

2. 천수만 간석지의 퇴적물 입도분석 결과, 만의 가장 안쪽에는 점토질 간석지가, 중간에 혼성 간석지가, 바다 쪽으로는 사질 간석지가 분포한다.

3. 안면도 남단의 섬웃섬 주변과 바람아래 해수욕장을 중심으로 동쪽으로는 사질간석지의 분포가 우세하고 서쪽으로는 혼성 및 점토질간석지가 우세하였다. 즉 바람아래 해수욕장을 중심으로 서쪽 연안은 외해에 면하여 파랑의 영향을 많이 받지만 동쪽으로는 만의 입구에 해당하므로 파랑의 영향을 적게 받아 세립질의 간석지가 발달할 수 있었다.

이상의 결과에서 보듯이 다중분광 위성자료를 이용하여 간석지의 조성물질을 분류할 수 있으

며, 본 연구에서 적용된 분석방법은 대규모 간척 사업에 따른 환경영향평가 및 지속적인 모니터링에 활용될 수 있다. 특히 간석지, 사빈, 연안사취, 사구의 보전 뿐 아니라 지속 가능한 연안개발 계획 수립 시 중요한 의사결정 자료로 활용될 수 있으며, 당면한 환경문제 해결에 크게 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- 국립지리원, 1980, 연안해역기본조사보고서.
- 권혁재, 1974, 황해안의 간석지 발달과 그 퇴적물의 기원 -금강·만경강 하구간의 간석지를 중심으로-, 지리학, 10, 1-12.
- 권혁재, 1981, 태안반도와 안면도의 해안지형, 사대논집, 6, 고려대학교 사범대학, 261-287.
- 박동원, 1976, 원격탐사방법에 의한 서해안 천수만 간석지 지형연구, 대한지리학회지, 15, 1-15.
- 박성우, 2001, 원격탐사를 이용한 강화도 남단 갯벌의 지형분석 기법 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 원중선, 유홍룡, 1995, Landsat TM 자료를 이용한 해안선 변화 관측, 해양연구, 17(2), 101-115.
- 장동호, 지광훈, 이현영, 2002, 원격탐사 자료를 이용한 천수만 간석지 환경변화에 관한 연구, 환경영향평가학회지, 11(1), 51-66.
- 조화룡, 조명희, 2000, 위성원격탐사를 이용한 곰소만 간석지의 미지형과 퇴적물 입도특성 분석, 한국지리정보학회지, 3(1), 44-56.
- 한국자원연구소, 1996, 대전 지질도폭(1:250,000).
- 한국해양연구소, 1988, Landsat TM 자료에 의한 조간대지형 및 해수타도 조사연구.
- Alicia, P. O. and Susan, L. U., 1998, Remote Sensing of Soil Properties in the Santa Monica Mountains I. Spectral Analysis, *Remote Sensing of Environment*, 65, 170-183.
- Allen, G. P., Salomon, J. C., Bassoulet, P., du Penhoat, Y. and de Grandpr, C., 1980, Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries, *Sedimentary Geology*, 26, 69-90.
- Crist, E. P. and Cicone, R. C., 1984, A Physically - Based Transformation of Thematic Mapper data - The TM tasseled cap, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 22(3), 256-263.
- Etienne, M. and Henri, D., 2000, Modeling soil moisture-reflectance, *Remote Sensing of Environment*, 76, 173-180.
- Folk, R. L., Andrews, P. B. and Lewis, D. W., 1970, Detrital Sedimentary Rock Classification and Nomenclature For Use in New Zealand, *New Zealand J. Geol. Geophysics*, 13, 937-968.
- Hart, B. S. and Long, B. F., 1990, Recent evolution of the Outardes estuary, Quebec, Canada: consequences of dam construction on the river, *Sedimentology*, 37, 495-507.
- Klein, G. de V. and Sanders, J. E., 1964, Comparison of sediments from Bay of Fundy and Dutch Warden Sea tidal flats, *Sedimentary Petrology*, 34, 19-24.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R.W., 1994, Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley & Sons, Inc.
- Muller, E., 1993, Evaluation and correction of angular anisotropic effects in multidata SPOT and Thematic Mapper data, *Remote Sensing of Environment*, 45, 295-309.
- Parkinson, R. W., 1994, Sea-level rise and the fate of tidal wetlands, *Journal of Coastal Research*, 10, 987-989.
- Shuchman, R. A., 1981, Determination of Beach Sand Parameters Using Remotely Sensed Aircraft

- Reflectance Data, *Remote sensing of Environment*, 11, 295-310.
- Swain, P. H. and Davis, S. M., 1978, Remote Sensing: The Quantitative Approach, McGraw-Hill, 145-159.
- Vicent, R. K., 1997, Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing, Prentice-Hall inc., 10-78.
- Wentworth, C. K., 1922, A Scale of Grade and Class Terms for Clastics Sediments, *Journal of Geology*, 30, 377-392.
- Zenkovich, V. P., 1967, Processes of Coastal Development, Interscience Publishers, John Wiley, New York, 629.