환경영향평가 제11권 제1호(2002) pp.51~66

원격탐사 자료를 이용한 천수만 간석지 환경변화에 관한 연구

장동호* · 지광훈** · 이현영***
건국대학교 대학원*, 한국지질자원연구원**, 건국대학교***

A Study on the Environment Change of Tidal Flat in the Cheonsu Bay Using Remotely Sensed Data.

Jang, Dong-Ho* · Chi, Kwang-Hoon · Lee, Hyoun-Young*****
Graduate school, Konkuk University*, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources **, Konkuk University***

Abstract

The purpose of this study is to analyze the geomorphological environment changes of tidal flat in the *Cheonsu Bay*. Especially, it centers on the changes in the sedimentary environment using remote sensing data. Multi-temporal Landsat data and topographic maps were used in this study.

The results are summarized as follows: the tidal flat of *Cheonsu Bay* changes in many ways depending on the direction of the tidal current. In the neighborhood of *Ganwoldo*, the scale of the tidal flat has continuously been expanded due to the superiority of sedimentation after a tide embankment was built. When we analyzed the grain size of sediments and implemented in-situ field survey, it was found that the innermost part of the bay consists of a mud flat, with the midway part mixed flat, and the nearest part to the sea sand flat. On the other hand, in the neighborhood of *Seomot* isle and its beach, sedimentation is superior in the eastern part whereas erosion is superior in the western part. In other words, the western coast of the beach is contacted with the open seas and under much influence of ocean wave. The eastern coast is placed at the entrance of the bay and has sand bar and tidal flat developed due to submarine deposits that are accumulated on the sea floor by the tidal current.

In conclusions, remote sensing methods can be effectively applied for quantitative analysis of geomorphological changes in tidal flat, and it is expected that the proposed schemes can be applied to another geomorphological environments such as beach, sand dune, and sand wave.

Key words : environment changes, remotely sensed data, tidal flat, sedimentary environment, *Cheonsu Bay*.

I. 서 론

근래 한국에서는 주로 간척사업에 수반하여 지형변화가 대규모적으로 일어나고 있으며, 자연적인 영력(營力)에 의해서도 규모가 크지는 않으나 해안선의 변화, 해안사구 및 사빈의 유실, 삼각주와 하도(河道)의 변화가 일어나고 있다. 본 연구 지역인 천수만 연안도 리아스식 해안으로서 일찍부터 소규모 간척이 이루어져 왔다(이문종, 1988). 이러한 지형의 변화는 생태계의 변화, 환경오염, 토지이용변화, 국토개발 및 관리 등에 많은 변화를 일으키고 있다. 특히 1980년대에 천수만 A·B 지구의 대규모 간척이 이루어지면서 발생한 인위적인 해안지형의 변화는 우리가 예기치 못했던 생태계 전반에 걸쳐 영향을 미치고 있다(과학기술부, 1994).

간석지는 환경적인 측면 뿐 아니라 사회경제적인 측면에서도 그 중요성이 높다. 육지로부터 유입되는 풍부한 영양염은 수산생물의 산란장과 서식지로 중요한 의미를 가질 뿐 아니라, 간척지는 항만, 임해공단 등 경제활동의 중심지가 된다. 한국의 경우도 1960년대 초부터 서·남 해안선을 따라 대규모 간척사업이 진행되면서 항만 건설, 간척지 개발, 인공섬 건설, 임해공업단지 건설 등 연안산업기지의 사회 인프라구축으로서 긍정적인 성과를 거두었다. 그러나 간척지 주변에서 배출되는 공장폐수, 침식과 퇴적을 증가시키는 각종 건설공사, 경작지에서 사용된 비료와 농약의 피해 등으로 간석지의 오염이 심해져 연안의 갯벌과 수생동식물의 서식지가 심각하게 파괴되는 부정적인 결과도 초래하였다(이현영·이승호, 1997).

특히 천수만 간석지 일대는 대단위 간척사업이 이루어지면서 해안선 및 해안 인접지역 지형에 급속한 변화를 가져왔고, 이러한 변화는 궁극적으로 해수유동과 연안침식 및 퇴적환경을 변화시킴으로서 연안의 지형환경을 크게 변화시키는 원인이 되고 있다. 그럼에도 불구하고 해안선 및 연안환경에 관한 장기적이며 지속적인 변화관측은 대부분 현장조사에만 의존하고 있는데 이 방법은 급속한 변화에 대응하지 못할 뿐만 아니라, 경제적인 측면에서도 바람직하지 못하다(원중선·유홍룡, 1995).

한편, 인위적인 해안환경과 퇴적환경의 관계에 대한 많은 연구는 직접 현장에서 실측을 통한 연구들이 대부분이나(Allen *et al.*, 1980; Carter, 1988; Hart and Long, 1990) 원격탐사기법에 의한 연구도 상당수 진행되고 있다. 예컨대, Weismiller 외(1977)는 Landsat MSS와 항공사진의 적외선 영상을 이용하여 미국 Texas주 Matagorda만 지역 삼각주의 특성을 규명하고 해안지형의 변화를 예고하였다. Zainal 외(1992)도 Landsat TM 영상을 사용하여 바레인 동쪽 해안의 간석지 변화를 선분류 후비교법(Post-classification)을 통하여 간석지의 변화면적을 산출하였다. 이밖에도 Chen과 Rau(1998)는 광학자료를 이용하여 대만 서해안 사주의 DEM을 생성하여 조석에 따른 해안선을 유추함으로서 과거 퇴적 및 침식 작용에 의한 해안선 변화를 분석하였다. 우리나라의 경우에는 1960년대 말부터 원격탐사기법에 관한 연구가 시작되었으나 본격적인 연구는 1990년대에 이르러 활발해졌다. 한국자원연구소(1993)는 Landsat 자료를 이용하여 낙동강 하구의 삼각주 지질환경을 분석하면서, 하구 둑 설치 전·후의 퇴적환경 변화가 하구 삼각주의 지형변화에 미치는 영향의 규명을 시도하였다. 유영철(2000)도 Landsat TM 위성영상과 다분광반사도 특성을 이용하여 퇴적물을 분류하고, 대규모 간척사업에 따른 해안선 및 해안선 인접지역의 지표피복 양상을 파악하였다. 이러한 국내·외 원격탐사 기법을 이용한 연구들은 해안지역의 퇴적환경 변화와 해안선 변화를 대상으로 한 것으로 각각의 연구에서 도출된 결과는 상이하게 나타나는데, 이는 연구대상지역의 환경, 자료의 해상도 및 분석기법 등이 다르기 때문이다. 따라서 인위적인 간척사업으로 인한

연안 간석지의 변화와 해안선의 변화를 추적할 수 있는 적절한 분석기법이 개발되어져야 할 것이다.

본 연구에서는 원격탐사(RS: Remote Sensing) 기법과 현장조사를 병행하여 천수만 연안 간석지의 퇴적환경 변화를 밝히고자 하였다. 특히 다중시기의 인공위성자료를 사용한 퇴적 및 침식환경 변화 연구는 간석지, 간석지내의 사빈, 사취, 사구의 보전 뿐 아니라 지속 가능한 연안개발 계획 수립 시 중요한 의사결정 자료로 활용될 수 있으며, 당면한 환경문제 해결에 크게 도움이 될 수 있을 것이다.

II. 연구지역, 자료 및 방법

1. 연구지역

일찍부터 간척사업이 진행되어온 천수만 지역은 1983~1985년 사이에 완료된 서산 A · B지구 간척사업으로 해안선과 인접지역의 지형이 빠른 속도로 변화하여 왔다(Fig. 1). 행정적으로는 보령시 주교면 · 오천면 · 천북면, 홍성군 서부면 · 갈산면, 서산시 부석면, 태안군 남면 · 안면읍 · 고남면을 포함하는 본 연구지역은 동경 126° 19′ 27″에서 126° 31′ 38″, 북위 36° 23′ 15″에서 36° 39′ 45″ 범위에 걸쳐 자리하고 있다.

천수만은 서해 연안에 위치한 반 폐쇄성 내만으로써, 원산도의 동쪽 끝과 보령시 주교면 고정리 남서측에 있는 송도사이를 입구로 하여 북쪽으로 약 40km 만입되고, 만 중앙부의 최대 폭은 약 10km이다. 천수만의 중심수로는 대천 앞 바다에 발달된 깊은 수로와 연결되어 있어 천수만 연안의 간석지 지형변화는 인접 해역의 조건과 함께 변화한다.

천수만 연안은 완경사의 구릉성 산지이며, 산림이 양호하고 논 · 밭이 많은 것이 특징이다(Fig. 2). 해안지형은 전형적인 리아스식해안으로 굴곡이 매우 심하여 해안선의 길이는 151.3km에 달하

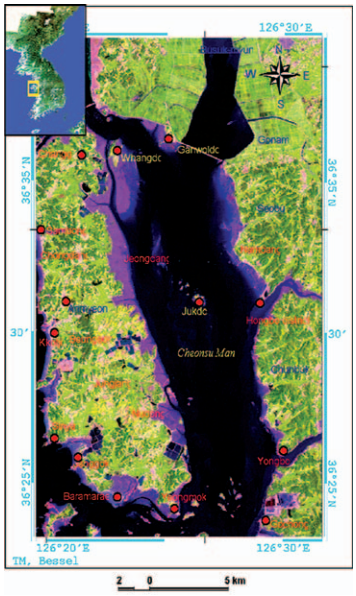


Fig. 1. Study area (Landsat TM image of 1996. 9. 1).

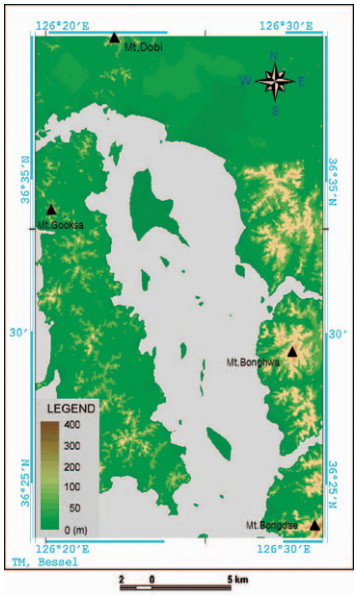


Fig. 2. DEM of the study area.

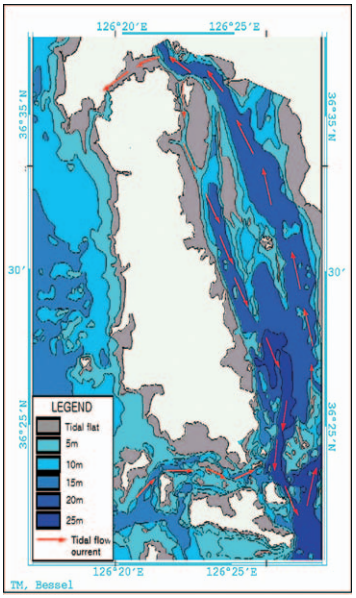


Fig. 3. Bathymetric map of *Cheonsu Bay*(1994).

며, 간석지가 많이 발달되어 있다. 지질은 선캠브리아기의 태안층군에 속하는 변성퇴적암류와 경기변성암 복합체, 그리고 이들을 관입한 쥬라기 말 대보화강암과 백악기 및 시대미상의 관입암류로 구성되어 있다(한국자원연구소, 1996). 전체적으로 태안층군에 속하는 편마암류가 대부분을 차지하고 있으며, 화강암류와 편암류가 일부지역에 분포한다.

본 연구지역일대의 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. 만의 입구에서 밀물 시에는 북쪽으로, 썰물 시에는 남쪽으로 흐르고 밀물과 썰물은 비대칭으로 나타난다(국립지리원, 1980).

Fig. 3은 조사지역의 수심도이다. 전체적으로 천수만 내에서는 안면도 동쪽 해안보다 수심이 깊다. 내만지역의 수심은 평균 1.5m 정도로 완만한 경사지를 이루고 있으며, 천수만 내의 죽도부근은 수심 20~25m, 원산도 부근의 20~30m를 제외하면 거의 20m 정도의 수심분포를 보인다.

Table 1. Remotely sensed data used to detect the geomorphological environmental change.

Acquisition Date	Platform	Sensor	Acquisition Time
1981. 09. 5.	Landsat-2	MSS	10 : 29
1983. 05. 17.	Landsat-4	MSS	10 : 41
1986. 04. 15.	Landsat-5	TM	10 : 36
1992. 06. 2.	Landsat-5	TM	10 : 34
1993. 10. 27.	Landsat-5	TM	10 : 33
1994. 07. 26.	Landsat-5	TM	10 : 34
1996. 09. 1.	Landsat-5	TM	10 : 31
2000. 03. 20.	Landsat-7	ETM+	10 : 30

2. 자료 및 방법

본 연구에서는 대규모 간척사업의 추진에 의한 해안환경 변화 분석을 위해 현장에서 퇴적물 시료를 채취하고, 지형도 및 조석표 그리고 위성영상을 사용하였다. 시료는 50개 지점에서 채취하여

Table 2. Landsat images at the various tidal conditions (L.W. : low water, H.W : high water).

Site / Time		Boryeong		
		Time	Height of the tide(cm)	Height of the tide on acquisition time(cm)
1981. 9. 5. Landsat MSS	L.W	02:15	140	336
	H.W	07:19	500	
	L.W	14:17	140	
	H.W	19:48	500	
1983. 5.17. Landsat MSS	L.W	00:43	50	376
	H.W	06:33	690	
	L.W	13:28	140	
	H.W	18:43	570	
1986. 4.15. Landsat TM	L.W	01:02	40	386
	H.W	07:08	640	
	L.W	13:38	130	
	H.W	19:14	540	
1992. 6. 2. Landsat TM	H.W	04:19	712	58
	L.W	11:00	5	
	H.W	16:39	725	
	L.W	23:21	20	
1993. 10.27. Landsat TM	H.W	01:18	582	429
	L.W	07:58	168	
	H.W	13:48	597	
	L.W	20:16	179	
1994. 7.26. Landsat TM	H.W	05:38	746	309
	L.W	12:24	102	
	H.W	17:53	685	
	L.W	-	-	
1996. 9. 1. Landsat TM	H.W	05:36	772	236
	L.W	12:22	32	
	H.W	17:58	757	
	L.W	-	-	
2000. 3.20. Landsat ETM+	H.W	03:40	687	30
	L.W	10:22	6	
	H.W	16:04	729	
	L.W	22:47	23	

입도분석을 하고, 지형도는 조선총독부 산하 조선임시토지조사국에서 제작된 지도(1915)와 1975년, 1985년에 항공사진 측량에 의해 제작된 지도를 사용하였다.

다중시기자료로 사용된 위성자료는 Landsat TM(Thematic Mapper) 자료를 근간으로 사용하였으며, TM 자료가 없는 경우에는 Landsat MSS(Multispectral Scanner)와 ETM+(Enhanced Thematic Mapper-Plus)으로 보완하였다. 사용된 영상은 서산 A·B 방조제 공사전인 1982년 9월 5일부터 2000년 3월20일 까지 서로 다른 시기의 8개이다(Table 1).

위성영상을 이용한 퇴적환경 변화 분석에는 반드시 조석표를 고려해야 하는데 동일한 조석조건의 자료를 중첩 비교하는 것이 이상적이나, 이는 자료가 불충분하여 현재로서는 불가능하다. 그러나 낮은 조위 때의 영상 보다 그 후의 조위가 높을 때 얻어진 영상이 보여주는 퇴적지형의 범위가 작아야 함에도 불구하고 퇴적지형의 범위가 더 넓다면 그 지역에서는 그 동안 퇴적작용이 일어났음을 알 수 있다. 역으로 위와 같은 현상을 보여주는 두 위성자료의 획득 시기가 반대일 경우에는 침식작용이 일어났다고 볼 수 있다. 이러한 분석은 평면적이기 때문에 정확한 변천 규모를 알아내기는 어렵지만 적어도 퇴적 및 침식의 여부와 최소한의 변화 범위는 확인 할 수 있다. 조석예보 자료는 본 연구지역에 포함되는 검조소가 없기 때문에 천수만과 가장 가까운 보령검조소(36° 24′ N, 126° 29′ E)자료를 사용하였다(Table 2).

간석지 퇴적환경 변화 분석은 다음과 같은 연구방법에 의해 수행하였다(Fig. 4). 일차적으로 문헌조사로서 1900년대 이후의 시대별·연도별 지형도를 수치화 하였고, 영상자료와 관련된 지상검증자료인 조석표, 간석지 면적 및 퇴적물 분석자료 등을 수집하였다. 그리고 현장에서 퇴적물 시료를 채취하여 입도분석을 하였으며, 이 결과로 간석지 조성물질을 분석하였다.

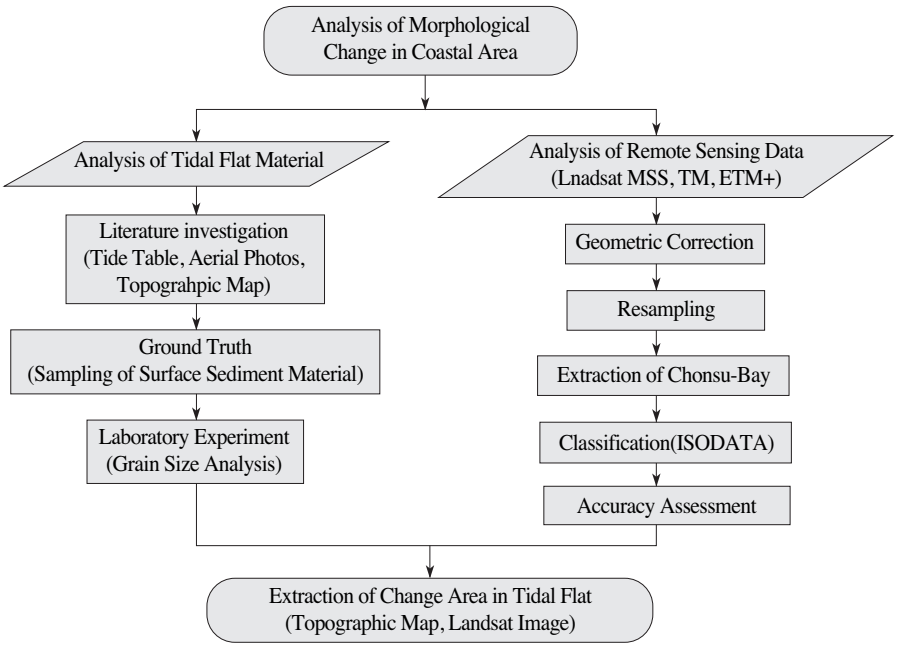


Fig. 4. Procedure for analysis of morphological change in coastal area.

위성영상 자료로부터 간석지 퇴적환경 변화를 분석하기 위해서는 자료의 표준화가 필요하다. 먼저 위성자료의 표준화를 위해 기하학적보정을 실시하였다. 보정에 사용된 지형도는 1 : 25,000 지형도이며, 2000년 3월20일 영상과 Image to Map 방법을 이용하여 정합(整合)시켰다. 나머지 Landsat MSS, TM 영상에 Image to Image로 정합하였다. 변환식은 지도좌표(X_i, Y_i, $i=1, n$)와 영상좌표 (P_i, L_i, $i=1, n$)를 이용하여 Affine 변환식으로 좌표 변환하였다. 각 Landstat 영상의 RMS error는 0.5 pixel 이하로 보정하였다.

이상과 같은 과정에 의해 출력된 영상은 원래의 입력된 영상과 일치하지 않는데, 이는 출력하고자 하는 지도좌표계의 위치에 대응하는 영상좌표에는 원래의 입력 영상 자료가 없는 것이 많기 때문이다. 따라서 출력할 영상의 범위, 화소간격 등을 결정하기 위한 기하학적 보정의 최종단계인 재배열(resampling) 과정이 요구된다. 본 연구에서는 재배열 방법 중 고유의 자료 값을 이용하여야 하므로 화소값의 변화가 가장 적은 최근린법(nearest neighborhood)을 적용하였다. 또한 연구지역의 간석지 분류시의 오차 및 자료처리 시간을 줄이기 위해 각 연도별 영상에서 육상부분을 masking 처리하여 천수만 해역을 추출하였다. 이렇게 처리된 영상을 분류(classification)하여 천수만 연안의 간석지 변화를 추출하였다. 영상분류에는 무감독분류(unsupervised classification) 방법을 사용하였는데, 특히 퇴적물질 분류에 자주 사용되는 ISODATA(Iterative Self Organizing Analysis Technique) 분류기법을 이용하였다(조화룡 외, 2000).

III. 간석지 지형변화 분석

1. 간석지의 퇴적물 분석

간석지 또는 갯벌(tidal flat)은 조차가 크고 큰 파도의 영향이 적으며 해저경사가 비교적 완만한 해안에 점토, 실트 등의 세립물질이 퇴적되어 형성된 지형인데, 만조시에는 침수되나 간조시에는 대기중에 노출되는 것이 특색이다(Walter, 1955). 간석지는 주변지형, 퇴적물의 공급량, 에너지 환경 등의 차이에 따라 매우 다양한 퇴적상을 보이며, 퇴적물의 입도 분포는 조류, 파랑 등 그 지역의 물리적 특성을 반영한다. 본 연구지역의 간석지 기저면은 경사가 완만한 파식대가 발달되었는데 일부 지역에서는 퇴적층의 두께가 얇아서 파식대가 그대로 노출된 곳도 나타난다(박동원, 1976). 현재 천수만의 양안을 따라서는 간척사업이 이루어져서 갯벌의 면적이 감소와 더불어 주변 생태계에 영향을 미치고 있다.

본 연구에서는 위성영상에 의한 간석지 퇴적물질을 분류하기 위해 점토질 퇴적물, 혼성퇴적물과 사질퇴적물로 구분하였다. 즉 실트와 점토의 함량이 퇴적물 전체비율에서 30% 이하를 차지할 때는 사질간석지(sand flat), 80%이상일 때는 점토질 간석지(mud flat)라 하였으며, 그 중간 즉 30~80% 내외의 실트와 점토를 포함하고 있을 때에는 혼성 간석지(mixed flat)로 구분하였다(Reineck, 1967). 사질간석지는 다시 주변 산지에서 공급되는 육상퇴적물이 피복되어 있는 클래스(Sand I)와 육상퇴적물이 없는 클래스(Sand II)로 구분하였다.

Fig 5는 위성영상을 무감독분류하여 얻은 퇴적물의 조성물질 비율이다. 연구지역에서 가장 넓게 나타나는 것은 혼성간석지로 간조시 면적이 16.22km^{2}로서, 그 비율은 35.0%에 이른다. 다음으로 사질 간석지(12.84km^2, 27.7%), 점토질 간석지(10.76km^2, 23.2%) 순이다. 사질 간석지의 비율이 높게 나타나는 까닭은 천수만의 외해와 안면도 서쪽 해안에 발달된 사빈의 전방에 자리한 간석지를 포함하였기 때문이다. 간석지 클래스별 특징을 분석하여 보면, 천수만의 양안을 따라서 조류 및 파랑의 영향으로 입도 조성이 다양한 간석

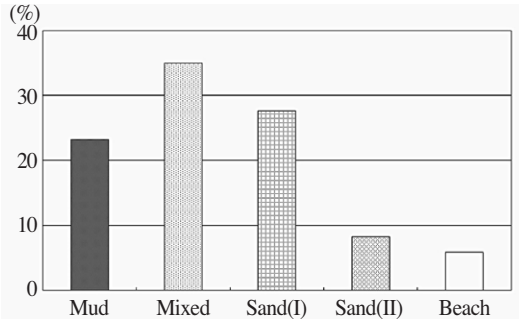


Fig. 5. The grain size analysis of sediments in the *Cheonsu Bay*.

지가 형성되었다는 것이다. 천수만의 동편 서부면 쪽에는 서편 안면도 쪽 보다 사질 간석지가 대규모로 발달되어 있는데, 이는 조류의 영향도 있지만, 하계 및 동계 계절풍에 따른 파랑의 영향에 기인한 것으로 판단된다. 퇴적물질들은 주로 연안을 따라서는 점토질 간석지가 발달하였고, 중간에 혼성간석지, 외해로 갈수록 사질 간석지의 비율이 높은 것이 특징이다.

천수만 지역의 표층퇴적물 입도분석 결과를 살펴보면, 먼저 사질 간석지에 해당되는 지역의 퇴적물 특징은 크게 2가지로 나타난다. 첫째, 창기리 북단 연안에서 채취된 표본(Geocoded location; 140959.665, 346046.469)은 평균 입도 2.68ϕ이며, 자갈이 15.4%, 모래가 48.16%를 차지하여 사질간석지에 해당한다. 조립질 퇴적물질은 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 평탄화 작용과 함께 풍화작용을 받은 결과이다. 둘째, 해안부근의 육성퇴적물의 공급에서 퇴적될 수도 있지만, 죽도 북단의 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. 대표적인 지점으로는 황도 남쪽 간석지의 남동쪽 끝 부분에 해당되는 지점(Geocoded location; 145773.024, 342782.328)으로 만조시에는 해수에 잠기나 간조시에 노출된다. 이 지점의 평균 입도는 2.65ϕ이며, 모래가 100%이다. 죽도 북단의 연안 사주상의 표본(Geocoded location; 147281.930, 337939.672)은 평균입도 2.53ϕ 모래가 82.57%, 실트가 14.98%, 점토가 2.45%이다. 현장에서 확인한 결과 이들 지역들은 대부분 폭이 100m 이내이며, 연흔(ripple mark)과 소류(rill mark)가 잘 나타나며, 연흔의 이동에 따른 사층리가 형성되어 있다(한국지구과학회, 2000). 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 덮여서 형성된 간석지들로 이곳에는 지속적으로 미립질 퇴적물질들이 퇴적되고 있다. 이들 지역들을 현장에서 확인한 결과 주로 사질 실트에 해당되며, 평균 입도는 5.0~7.0ϕ이며 생물에 의한 교란작용으로 표면이 울퉁불퉁하다. 대표적인 몇몇 표본 채취 지점들을 보면, 천수만 서쪽 창기리 해안 표본(Geocoded location; 143708.180, 343739.985)은 평균 입도 7.22ϕ이며, 모래의 비율은 2.24%, 실트는 62.36%, 점토는 35.4%이다. 황도 서쪽 해안 표본(Geocoded location; 144495.680, 345272.797)은 평균 입도 6.7ϕ이며, 모래는 4.02%, 실트는 70.25%, 점토는 25.73%이다. 천수만 동쪽 연안인 천북면 소호리 표본(Geocoded location; 153118.102, 332223.032)은 평균입도 7.64ϕ, 모래는 2.21%, 실트는 60.14%, 점토는 37.65%이다.

혼성 간석지는 천수만 전 해역에 걸쳐 넓게 분포하고 있다. 퇴적물의 유형은 주로 실트질 모래로 구성되었으며, 평균 입도는 3.0~5.0ϕ이다. 이들 지역에는 소연흔이 국부적으로 분포하고, 우상층리, 연흔 사층리가 형성되어 있으며, 교란정도

가 심하다. 대표적인 몇몇 표본 채취지점들을 보면, 천수만 서쪽 연안인 우포나루터 전방의 표본(Geocoded location; 142806.540, 346077.407)은 평균 입도 4.58ϕ이며, 모래의 비율은 49.20%, 실트는 40.15%, 점토는 10.65%이다. 황도 남단에 위치한 표본(Geocoded location; 144943.805, 342837.172)은 평균 입도 5.51ϕ이며, 모래는 33.43%, 실트는 48.02%, 점토는 18.55%이다. 누동 초등학교 서쪽 해안의 표본(Geocoded location; 147730.290, 328791.782)은 평균 입도 4.38ϕ이며, 모래는 37.67%, 실트는 57.02%, 점토는 5.31%이다. 천수만 동쪽 연안인 천북면 학성리 동쪽 해안 표본(Geocoded location; 153836.696, 330094.438)은 평균 입도 4.36ϕ, gravel이 5.3%, 모래는 32.29%, 실트는 47.58%, 점토는 14.83%이다.

이상의 영상분류 및 입도분석 결과에서 알 수 있듯이 천수만의 양안을 따라서는 조류 및 파랑의 영향으로 퇴적물질 조성이 다양한 간석지가 형성되어 있다. 특히 연안에는 점토질 간석지가 우세하고, 외해로 갈수록 사질 간석지의 비율이 높은 것이 특징이다. 이들 간석지의 퇴적물질 공급원은 연안의 침식물질과 해저 퇴적물질이 큰 비중을 차지하며 모래, 자갈 등이 풍부하다. 즉 본 연구지역에는 큰 하천이 없기 때문에, 이들 퇴적물들은 주변산지에서 공급된 퇴적물질이 대부분이다. 따라서 현재 간석지의 기반암 표면이 육상영역에 의해서 풍화된 다음 그 위에 해류 및 파랑 등의 영향으로 점차 해저에서 공급되는 퇴적물이 퇴적 된 것으로 판단된다. 그러나 이의 원인을 규명하기 위해서는 위성 관측 자료의 보완과 보다 구체적인 지형학적인 연구가 요구된다.

2. 지형도에 의한 간석지 지형변화 분석

천수만의 해안지형은 근래 간척사업과 방조제 건설 등에 의해 인위적으로 새로운 간석지 와 해안퇴적지형이 형성되기도 하고, 일부지역에서는 반대로 해안침식이 진행되어 사빈과 사구 등의 연안퇴적지형들이 사라지기도 하였다(Fig. 6).

Fig. 6은 1915년 이후 1985년에 이르기까지의 간석지변화 과정을 나타내고 있다. 1915년에 조선총독부 산하 조선임시토지조사국에 의해 제작된 지형도에 의하면 본 연구지역의 전체면적은 550.8km^{2}이이고 이중 간석지의 면적은 151.55km^{2}로 전체면적에서 차지하는 비중이 27.52%에 달한다(Fig. 7-a). 특히 간월도를 중심으로 부석면과 갈산면에 걸쳐 대규모의 간석지가 분포하였고, 천수만 양안을 따라서도 간석지가 발달되어 있었다. 천수만의 동쪽과 서쪽 연안의 만입부도 넓은 간석지가 형성되었으며, 죽도 북쪽에는 규모가 큰 연안사주 모양의 간석지가 발달하였다.

1975년 제작된 지형도(Fig. 7-b)에 의하면 육지면적은 231.56km^2(42.06%)이다. 이것은 1915년에 비해 26.98km^2(4.9%) 정도 증가한 것이며, 이중 해양에서 육지로 변한 면적이 19.46km^2, 간석지에서 육지로 바뀐 것이 7.52km^{2}이다. 천수만 동쪽의 해안에서는 일제시대와 큰 차이가 없으나 일부 지역에서 간척사업으로 간석지가 육지화되었다. 대표적인 지역으로는 현재 보령화력발전소가 위치한 주교면 고정리 지역이다. 천수만 서쪽에 위치한 안면도에서는 만입지를 중심으로 간척사업이 진행되었다. 그중 안면읍 신야리, 승언리(두산

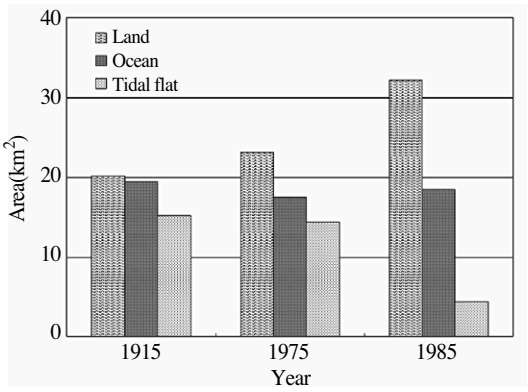


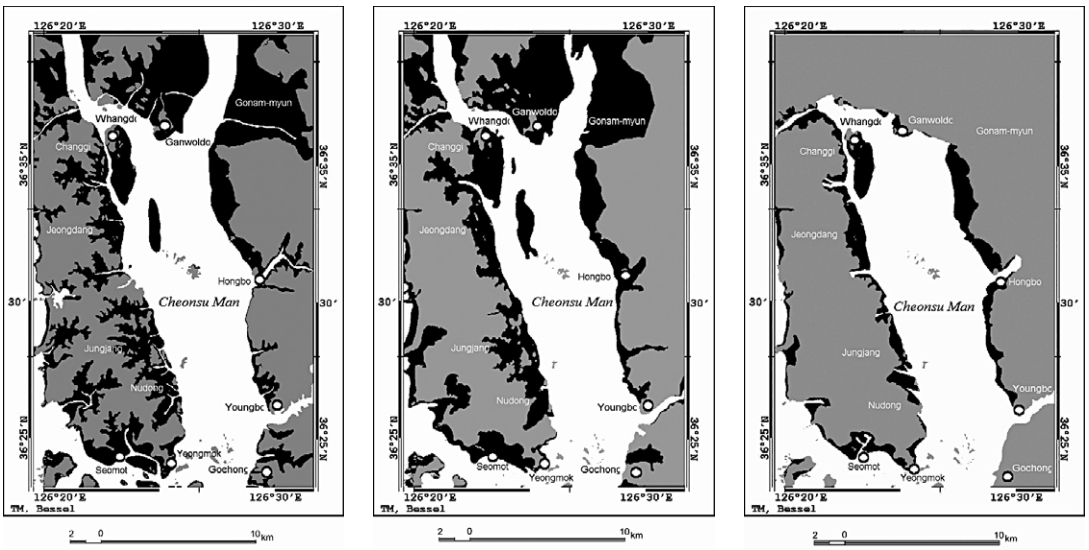
Fig. 6. Changed area of topographical map.

염전), 고남면 누동리 등지에서 대규모 간척사업이 이루어졌다. 이 기간의 간석지의 퇴적환경 변화를 보면 전체적으로 큰 변화는 없으나 죽도 북단 간석지와 황도 남단 간석지의 변화가 주목할 만하다. 특히 황도 남단은 안면도와 간석지로 연결되어 있으며, 일부 갯골만 썰물길로 이용되고 있다. 죽도 북쪽 간석지 역시 조류의 영향으로 지속적으로 성장하고 있었음을 알 수 있다.

Fig. 7(c)는 1985년 제작된 지형도이다. 육지면적은 322.136km^2(58.48%)로 1975년에 비해 90.57 km^2(4.9%) 정도 증가하였다. 반면, 해양의 면적은 184.34km^2, 간석지는 44.34km^{2}로 1975년에 비해 해양(9.13km^2)과 간석지(99.69km^2)는 감소하였다. 특히 가장 큰 변화는 서산 A·B 간척지구의 건설에 따른 간석지의 감소이다. 안면도 지역에서도 천수만과 접하는 전 해안에 걸쳐 간척사업이 진행되어 현재와 같은 해안선을 갖추게 되었다.

간석지의 퇴적환경 변화는 인위적인 간척사업에 의해서 발생하였지만 황도 남단과 죽도북단에서는 간석지의 규모가 축소되었거나 변화가 나타나지 않는다. 이것은 조석의 영향과 더불어 서산 A·B 방조제공사에 따른 천수만 지역의 대규모 해안지형 변화가 일어나고 있음을 의미한다.

이상의 결과를 요약하면 천수만을 중심으로 동쪽 해안은 과거 밀물 시 수로로 이용되어 대규모의 간석지가 발달하지 못하였다. 이들 대부분의 간석지들은 V자형의 배후에 위치하여 주변의 해안침식에서 얻어진 조립질 퇴적물이 덮여있거나 파식대로 단애면과 연결되었다. 하지만 서산 A·B 방조제 공사 이후 유속의 감소에 따라 퇴적물질이 지속적으로 퇴적됨에 따라 천수만의 동쪽해안은 현재 퇴적환경이 우세하게 나타나는 것으로 판단된다. 그러나 천수만의 남동쪽 해안으로 옮아 갈수록 침식환경이 우세하게 나타난다. 천수만 서쪽해안은 간척사업이 지속적으로 진행되어 간석지의 면적은 축소되었지만 기존의 간석지가 확대되고, 일부지역에서는 방조제 공사에 따른 새로운 간석지들이 형성되고 있어 퇴적환경이 우세한 것으로 나타났다. 특히 안면도 남단 섬옷섬 주변 바람아래해수욕장을 중심으로 동쪽으로는



(a) Topographical map(1915) (b) Topographical map(1975) (c) Topographical map(1985)

Fig. 7. Geomorphological changes of *Cheonsu Bay*(■: land; ■: tidal flat).

퇴적환경이 우세하고 서쪽으로는 침식환경이 우세하다. 즉 바람아래 해수욕장을 중심으로 서쪽 연안은 외해로 열려져 있어서 파랑의 영향을 많이 받지만 동쪽으로는 만입지에 위치하고 조류에 의하여 퇴적물질들이 지속적으로 공급되고 있기 때문에 사주 및 간석지 등이 발달할 수가 있을 것으로 생각된다.

3. Landsat 영상에 의한 간석지 지형변화 분석

인공위성 자료는 전술한 바와 같이 시계열적인 변화를 탐지하는 면에서 유리하다. 변화탐지는 토지이용, 지형, 온도, 환경 등 여러 분야에서 이루어지고 있는데, 본 연구에서는 간석지지형 변화의 분석에 다중시기 영상분류기법을 이용하여 변화면적을 산출하였다.

Table 3. Descriptive statistics of each class on the TM images.

CLASS \ Band			band 1	band 2	band 3	band 4	band 5	band 7	Area : km^2(%)
1981. 9. 5.	Ocean	Mean	20	15	7	1	-	-	242.06
		Std.Dev	2.34	3.40	2.24	1.43	-	-	(43.95)
	Tidal flat	Mean	25	28	29	20	-	-	79.64
		Std.Dev	3.26	5.16	7.26	8.34	-	-	(14.46)
1983. 5.17.	Ocean	Mean	32	27	20	11	-	-	219.62
		Std.Dev	1.76	3.22	2.52	1.50	-	-	(39.87)
	Tidal flat	Mean	34	37	36	26	-	-	81.68
		Std.Dev	2.53	3.72	5.01	5.59	-	-	(14.83)
1986. 4.15.	Ocean	Mean	87	34	27	12	10	5	194.96
		Std.Dev	4.17	3.38	4.99	3.53	3.52	1.79	(35.4)
	Tidal flat	Mean	101	46	54	44	67	29	32.91
		Std.Dev	7.17	5.14	8.10	7.86	19.43	10.74	(5.98)
1992. 6. 2.	Ocean	Mean	93	37	33	19	10	5	169.14
		Std.Dev	4.12	3.19	4.98	4.09	3.46	1.83	(30.71)
	Tidal flat	Mean	106	48	56	47	61	28	58.07
		Std.Dev	5.12	3.50	5.99	7.71	17.62	9.99	(10.54)
1993.10.27.	Ocean	Mean	58	21	17	8	5	2	195.53
		Std.Dev	3.20	2.38	3.20	1.91	2.22	1.35	(35.5)
	Tidal flat	Mean	70	32	38	32	51	23	31.75
		Std.Dev	5.36	4.19	6.91	7.78	15.41	8.59	(5.76)
1994. 7.26.	Ocean	Mean	72	28	22	10	5	2	183.53
		Std.Dev	4.76	3.71	5.46	3.41	2.73	1.53	(33.32)
	Tidal flat	Mean	87	40	48	41	55	23	43.59
		Std.Dev	5.99	4.63	7.62	10.26	17.65	8.77	(7.91)
1996. 9. 1.	Ocean	Mean	150	54	48	20	11	3	179.57
		Std.Dev	5.99	4.74	10.39	7.47	5.62	2.64	(32.6)
	Tidal flat	Mean	174	75	102	89	113	41	44.08
		Std.Dev	11.22	7.82	14.77	17.53	35.37	16.32	(8.0)
2000. 3.20.	Ocean	Mean	79	28	25	12	7	3	162.23
		Std.Dev	3.11	2.01	3.40	2.98	2.89	1.40	(29.45)
	Tidal flat	Mean	88	35	42	34	47	20	61.37
		Std.Dev	6.15	3.65	6.20	5.72	15.71	8.95	(11.14)

분류 클래스는 간석지, 해양, 육지부로 구분하였다. 해양에서는 간석지에 비해 낮은 반사율과 표준편차가 낮게 나타난다(Table 3). Landsat MSS 영상에서는 전체적으로 반사율이 낮으며, 특히 근적외선 영역으로 갈수록 DN 값이 낮게 나타난다. 이는 근적외선 영역이 수역에서 강한 흡수가 일어나고, 식물의 엽록소를 강하게 반영하기 때문에 식생이 없는 간석지는 어둡게 나타난 것이다. 이러한 결과는 Landsat TM 및 ETM+에서도 비슷한 형태를 취하고 있다. 각 밴드별 특성은 모든 클래스가 상대적으로 단파인 가시광역에서 DN 값이 높고, 장파인 적외선 영역에서는 DN 값이 낮아 평균값이 낮아진다. 밴드 7에서 가장 낮은 DN 값이 나타나는데, 이는 수분과 관계가 있다. 적외선은 대부분 물에서 흡수되므로 반사량이 적어서 DN 값도 낮고, 단파는 상대적으로 많이 반사되기 때문에 DN 값이 높게 나타난것이다.

일반적으로 DN 값의 표준편차는 편차 값이 클수록 대상물을 구분하는데 유용하다. Table 3에서 보는 것처럼 각 Class별 DN 값의 표준편차는 해양에서 밴드 7이 가장 낮은 편차를 보이며, 상대적으로 밴드 3이 가장 높은 편차를 보인다. 이것은 물에 의한 흡수에 의한 것도 있지만 해양에서의 부유물질과 혼탁도 등이 밴드 3에서 잘 판독

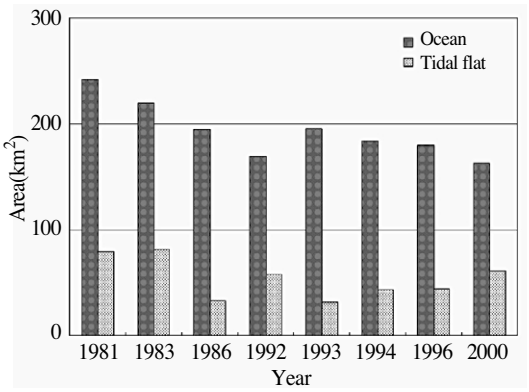
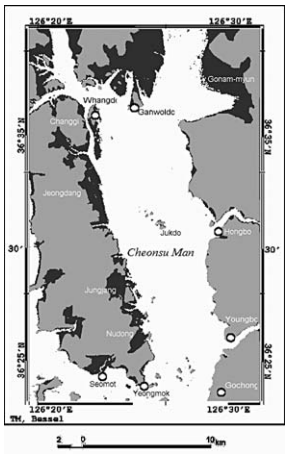


Fig. 8. Areal changes in ocean and tidal flat of Landsat data.

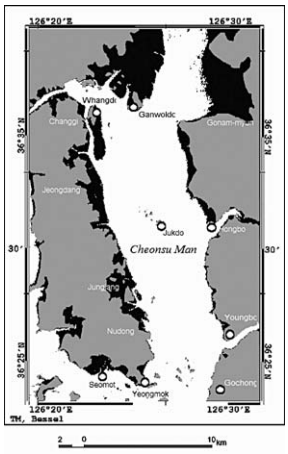
되는 것과 일치한다. 간석지에서는 밴드 2가 가장 낮은 편차를 보이고 밴드 5가 가장 높은 편차를 보인다. 다음으로는 밴드 7과 4가 높은 표준편차를 보이고 있어서 이러한 밴드들은 간석지의 퇴적물분류에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

Fig. 8은 연구지역의 간석지 및 해양의 연도별 면적을 나타낸 것이다. Fig. 9(a)는 1981년 9월 5일에 주사된 Landsat MSS 영상이다. 서산 A·B 방조제 공사 전의 영상으로 연구지역의 전체면적은 550.8km^{2}이다. 이중 간석지의 면적은 79.64 km^{2}으로 전체면적에서 차지하는 비중이 14.46%에 달하며, 해양은 242.06km^{2}으로 전체면적에서 43.95%를 차지하고 있다. 조류는 썰물로 약 336cm 정도의 수위를 나타내고 있으며, 간월도를 중심으로 부석면과 갈산면에 걸쳐 대규모 간석지들이 노출되어 있다. 천수만 양안을 따라서도 간석지가 발달하였는데, 특히 조류의 영향으로 밀물이 통과하는 동쪽 해안은 간석지의 발달이 미약하고, 썰물이 통과하는 서쪽의 안면도 해안에는 대규모 간석지를 형성하였다. 이러한 특성은 특히 황도 남단 해안에서 모식적으로 나타나는데, 황도근처는 적돌만과 천수만을 거쳐서 흘러나오는 썰물과 합류하는 지점으로 이러한 썰물의 영향으로 조류 방향의 그늘에 해당하는 황도리 남단에 대규모의 간석지를 형성하였다.

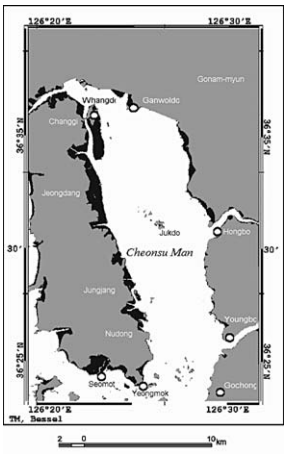
Fig. 9(b)는 1983년 5월17일에 주사된 Landsat MSS 영상이다. 본 영상은 서산 A·B 방조제 공사가 진행되는 과정의 영상으로, 서산 B방조제 물막이 공사가 끝나(1982년 10월 26일) 부석면에는 부남호가 형성되어 육지화 되어 있다. 연구지역에서 간석지 면적은 81.68km^{2}으로 전체면적에서 차지하는 비중이 14.83%에 달하며, 해양은 219.62km^{2}으로 전체면적에서 39.87%를 차지하고 있다. 조류는 썰물로 약 376cm 정도의 수위를 나타내고 있으며, 규모가 큰 간석지들은 간월도를 중심으로 북쪽의 부석면과 홍성군 갈산면에 걸쳐



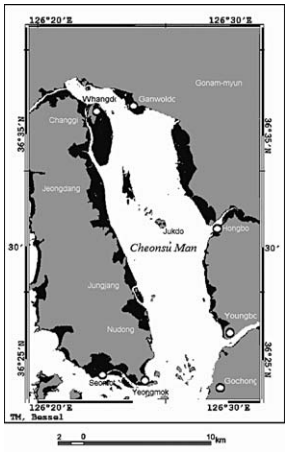
(a) 1981. 9. 5.



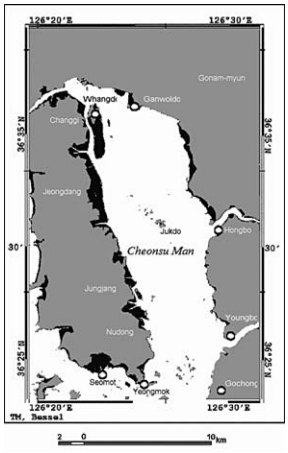
(b) 1983. 5.17.



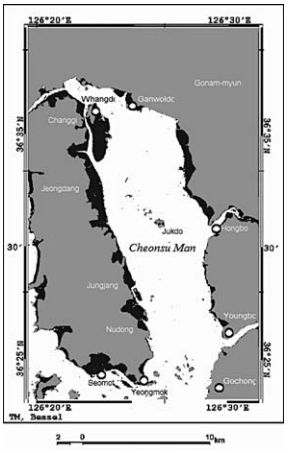
(c) 1986. 4.15.



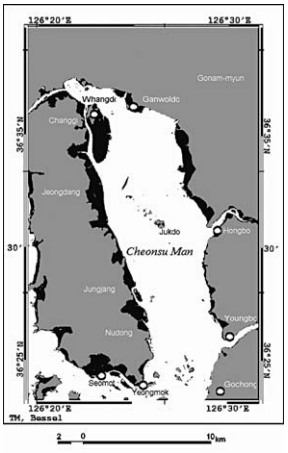
(d) 1992. 6. 2.



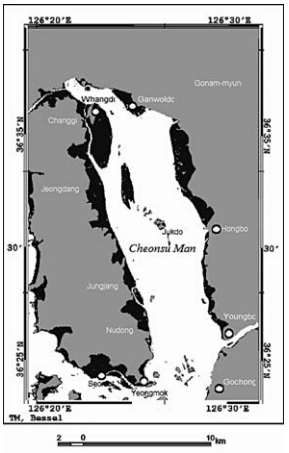
(e) 1993.10.27.



(f) 1994. 7.26.



(g) 1996. 9. 1.



(h) 2000. 3.20.

Fig. 9. Class images generated by unsupervised classification(■: land; ■: tidal flat).

노출되어 있다. 1981년 영상과 비교하여 보면 조위가 대략 40cm 정도 높아 서산 B방조제 공사로 간석지의 면적이 감소되어야 함에도 불구하고, 실제로 간석지의 면적은 0.37% 정도 증가하였다. 특히 천수만 서쪽해안보다는 동쪽해안에서 간석지의 면적이 크게 증가하였다. 대표적인 지역으로는 황도남단, 갈산면과 서부면의 해안에서 간석지의 면적이 증대되었다. 이것은 방조제 공사로 인한 연안 퇴적환경의 변화가 일어났음을 의미하며, 기존의 서쪽 연안 간석지들은 퇴적량이 약간 증가한데 비하여 동쪽 해안을 따라서는 퇴적물질이 다량으로 공급된 것으로 판단된다.

Fig. 9(c)는 1986년 4월15일에 주사된 Landsat TM 영상이다. TM은 지상공간 분해능이 높아 MSS보다 지형지물의 식별이 명확하여 기존의 MSS 영상에 비해 육지역과 수역의 구분을 보다 명확하게 할 수 있었다. 본 영상은 서산 A·B 방조제 공사가 완료(1984. 3.10.)된 후의 영상으로, 갈산면 및 부석면에는 대규모의 인공호가 형성되어 있다. 연구지역에서 간석지의 면적은 32.91km^{2}로 전체면적에서 차지하는 비중이 5.98%에 불과하다. 해양은 194.96km^{2}로 전체면적에서 32.90%를 차지하고 있다. 조류는 썰물로 약 386cm 정도의 수위를 나타내고 있으며, 대규모 간석지들은 천수만 서쪽 연안을 따라 노출되어 있다. 본 영상은 주사 당시의 수위가 1983년도 영상과 비슷하여 본 연구지역의 방조제 공사 전·후의 퇴적환경 변화에 중요한 기초자료로 활용될 수 있다. 즉 서산 A·B 방조제 공사 이후 천수만 서쪽 안면도 해안에서는 안면도 자체의 간척사업에 따른 감소율을 제외하고는 큰 퇴적환경 변화가 일어나지 않았다. 반면에 동쪽 홍성 연안을 따라서는 간석지의 면적이 급격히 감소하였음을 판독할 수 있었다. 이것은 본 지역이 A방조제 공사이후 만의 안쪽에서 일어났던 와류현상이 남쪽으로 남하하였기 때문으로 판단된다. 이에 따라 간석지의 퇴적물질도 실트나 점토 같은 미립질의 퇴적물보다 모래와 같은 조립질의 퇴적물들이 우세하게 나타나게 된 것으로 생각된다.

Fig. 9(d)는 1992년 6월 2일에 주사된 Landsat TM 영상이다. 연구지역에서 간석지의 면적은 58.07km^{2}로 전체면적의 10.54%를 차지하고 있다. 해양의 면적은 169.14km^{2}로 전체면적의 30.71%이다. 조류는 썰물이며, 약 58cm 정도로 조위가 매우 낮다. 따라서 간석지가 수면위로 노출되는 면적이 상대적으로 높다. 대규모 간석지들은 천수만 서쪽 연안을 따라 노출되어 있으며, 천수만의 동쪽 홍성 연안에도 대규모로 노출되어 있다. 특히 황도 남단 및 죽도 북단 사질 간석지의 변화가 주목할만하다.

이들 간석지들은 방조제 공사 이후에도 지속적으로 성장하고 있으며, 죽도 북쪽의 경우는 수중하중도 형태로 성장하고 있어서 지속적인 관찰이 요구된다. 1986년 이후 연안에서의 대규모 간척사업은 이루어지지 않았지만, 1986년에 비해 육지의 면적이 0.66km^2 증가한 것으로 보아 안면도 서쪽 연안을 따라 소규모의 간척이 이루어진 것으로 판단된다.

Fig. 9(e)는 1993년 10월 27일에 주사된 Landsat TM 영상이다. 연구지역에서 간석지의 면적은 31.75km^2(5.76%)이고 해양의 면적은 195.33 km^2(30.71%)이다. 육지의 면적은 1992년에 비해 0.07km^2 증가하여 큰 변화가 없다고 할 수 있다. 조류는 밀물이며, 조위는 약 429cm 정도로 본 연구에 사용된 위성 중 가장 높은 값을 나타냈다. 따라서 간석지가 수면위로 노출되는 면적이 상대적으로 적어서 전년도 자료와의 비교는 무리가 따른다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 1986(조위: 386cm)년 영상과 비교하였다. 그 결과 1986년 영상이 조위가 43cm 낮아 간석지 면적에서는 1.16km^2 정도 많음을 알 수 있다. 그러나 본 조사지역에서의 간척사업에 따른 감소율을 제외하면 면적에 큰 변화가 없는 편이다. 따라서 천수만 지역에서는 연안의 퇴적물질들이 지속

적으로 퇴적되고 있으며, 특히 동쪽 연안보다는 서쪽 및 남쪽 섬옷섬 주변 해역에서 간석지 증가가 나타나고 있다.

Fig. 9(f)는 1994년 7월 26일에 주사된 Landsat TM 영상이며, 연구지역에서 간석지의 면적은 43.59km^2(7.91%)이고 해양의 면적은 183.53 km^2(33.32%)를 차지한다. 육지의 면적은 1993년에 비해 0.16km^2 증가하여 큰 변화는 없다. 조류는 썰물이며, 약 309cm 정도이다.

Fig. 9(g)는 1996년 9월 1일 영상으로, 연구지역에서 간석지의 면적이 44.08km^2(8.0%)이고, 해양의 면적은 179.57km^2(32.6%)이다. 육지의 면적은 1994년에 비해 3.47km^2 증가하였는데 이는 소규모 만입지를 중심으로 간척사업이 진행되었기 때문이다. 조류는 썰물이며, 조위는 약 236cm 정도로 다른 영상에 비해 상대적으로 낮지만, 간척사업에 따른 갯벌의 감소에 기인하여 전년도 자료와는 비교할 수가 없다. 다만 본 시기에는 간척사업에 따른 인위적인 지형환경변화가 천수만의 간석지에 더 많은 영향을 미쳤을 것으로 보인다.

Fig. 9(h)는 2000년 3월 20일에 주사된 Landsat ETM+ 영상이다. 연구지역에서 간석지의 면적은 61.37km^{2}로 전체면적에서 차지하는 비중이 11.14%이며, 해양의 면적은 162.23km^{2}로 전체면적에서 30.71%를 차지한다. 육지의 면적은 1996년에 비해 0.52km^2 증가하여 큰 변화는 없다. 조류는 밀물이며, 조위는 약 23cm 정도로 본 연구에 사용된 위성 중 가장 낮은 조위를 나타냈다. 따라서 간석지가 수면위로 노출되는 면적이 상대적으로 가장 높아 간조시 천수만 전체의 간석지 규모를 파악할 수 있다. 대규모 간석지들은 천수만 서쪽 연안을 따라 노출되며, 천수만의 동쪽 홍성 연안에도 대규모로 나타난다.

이상의 천수만 지역의 위성자료를 이용한 분석결과는 다음과 같이 요약된다. 천수만 지역은 서산 A·B 방조제 건설 이전에는 대규모 간석지들이 간월도를 중심으로 부석면과 갈산면에 걸쳐 노출되어 있었고, 천수만 양안을 따라서도 간석지가 발달하였다. 특히 조류의 영향으로 밀물이 통과하는 동쪽 연안보다는 서쪽 안면도 연안에서 대규모 간석지를 형성되었다. 그러나 방조제 공사가 진행되는 과정에서는 천수만의 동쪽해안에서 간석지의 규모가 확대되었고, 방조제 공사 이후에는 이들 간석지들의 규모가 다시 감소하였다. 이러한 현상은 만의 안쪽에서 일어났던 와류현상이 남쪽으로 남하하였기 때문으로 판단된다. 1990년 이후에는 천수만 지역의 연안환경은 남동쪽 보령화력 발전소 주변을 제외하고는 전체적으로 퇴적환경이 우세하게 나타나는 것으로 분석되어졌다. 이에 따라 대규모의 간석지들이 수면위로 노출되며, 조류의 영향을 직접 받는 일부 지역에서는 연안 사주 및 사취의 형태로 성장하는 간석지도 나타난다. 대표적인 것은 황도 서남단 육섬에서 황도 방향으로 성장하는 사취상의 간석지, 안면읍 창기리 조구널에서 성장하는 사취상의 간석지, 죽도 북단의 연안사주상의 간석지, 섬옷섬에서 안면도 쪽으로 성장하는 사취상의 간석지, 바람아래 해수욕장에서 섬옷섬 쪽으로 성장하는 연안 사주상의 간석지 등이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 문헌자료와 원격탐사기법에 의한 천수만 연안의 간석지 퇴적환경 변화를 분석하였다. 특히 다중 시기 및 다중밴드의 인공위성 자료와 현장자료를 병행하여 간석지의 퇴적환경 변화를 고찰하였는데, 그 결과는 다음과 같다.

1. 위성영상으로부터 간석지 변화영역 추출 방법은 다양하나 본 연구에서는 분류의 정확도를 높이기 위해 육지부분을 Masking 처리한 후 해양부분만 무감독분류법을 사용하여 간석지를 추출하는 방법을 사용하였다. 이러한 방법은 해안선과 연안지형 변화뿐만 아니라 퇴적물의 퇴적과 침식의 분포양상을 파악하는데 효과적이었다.

2. 천수만의 간석지는 조류의 방향에 따라 변화하는데, 현재 간월도 주변지역은 방조제공사 이후 퇴적환경이 우세하여 지속적으로 간석지의 면적이 확대된다. 이들 각 지역에 대한 퇴적물 입도분석 및 현지지형 조사를 하여 검증해본 결과 만의 가장 안쪽에는 점토질 간석지(mud flat)가, 중간에 혼성 간석지(mixed flat), 바다 쪽으로는 사질 간석지(sand flat)가 분포한다.

3. 안면도 남단의 섬옷섬 주변과 바람아래 해수욕장을 중심으로 동쪽으로는 퇴적환경이 우세하고 서쪽으로는 침식환경이 우세하였다. 즉 바람아래 해수욕장을 중심으로 서쪽 연안은 외해에 면하여 파랑의 영향을 많이 받지만 동쪽으로는 만의 입구에 해당하므로 조류에 의하여 퇴적물질들이 지속적으로 공급되므로 연안사주 및 간석지가 발달할 수 있었다.

4. 간석지의 퇴적물질의 공급원은 연안의 침식물질과 해저 퇴적물질이 큰 비중을 차지하며 모래, 자갈 등의 조립물질이 풍부하다. 이들 퇴적물은 원마도가 극히 낮고, 표토는 적황~적색 계통의 색깔을 띠는데 오랜 기간 동안의 평탄화 작용과 함께 풍화작용을 받은 결과이다. 따라서 간석지 퇴적물 기원은 선캠브리아기 태안층군에 속하는 변성퇴적암류가 대부분을 차지하였다.

이상의 결과에서 보듯이 원격탐사 자료는 연안역에서의 대규모 간척사업에 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

과학기술부, 1994, 연안역 개발에 따른 해양생태계 변화 연구, 한국해양연구소.

국립지리원, 1980, 연안해역기본조사보고서.

권혁재, 1981, "태안반도와 안면도의 해안지형", 사대논집, 6, 고려대학교 사범대학, 261-287.

박동원, 1976, "원격탐사방법에 의한 서해안 천수만 간석지 지형연구", 대한지리학회지, 15, 1-15.

원중선, 유홍룡, 1995, "Landsat TM 자료를 이용한 해안선 변화 관측", 해양연구, 17(2), 101-115.

유영철, 2000, Multi-temporal Landsat TM 자료와 Hyperspectral 특성을 이용한 천수만 간척지의 지표변화연구, 충남대학교 석사학위논문.

이문종, 1988, 태안반도의 촌락형성에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문.

이현영, 이승호, 1997, "한국의 대규모 간척사업이 주변의 환경변화에 미치는 영향", 대한지리학회지, 32(4), 463-478.

장동호, 지광훈, 이봉주, 1995, "Landsat 자료를 이용한 금강하류의 충적주 환경변화에 관한 연구", 대한원격탐사학회지, 11(2), 59-73.

조화룡, 조명희, 2000, "위성원격탐사를 이용한 곰소만 간석지의 미지형과 퇴적물 입도특성 분석", 한국지리정보학회지, 3(1), 44-56.

한국자원연구소, 1993, 원격탐사 응용연구-낙동강 하구둑 설치전후의 지질환경 변화 연구-.

한국자원연구소, 1996, 대전 지질도폭(1:250,000).

한국지구과학회, 2000, 안면도 및 천수만 지역의 지질, 지구과학시리즈 12.

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.

Brakel, W.H., 1984, "Seasonal Dynamics of Suspended-Sediment Plumes from the Tana and Sabaki Rivers, Kenya: Analysis of Landsat Imagery", Remote Sensing of Environment, 16, 165-173.

Carter, R.W.G., 1988, Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines, Academic Press.

Chen, L. C. and Rau, J. Y., 1998, "Detection of Shoreline changes for tideland areas using multi-temporal satellite images," INT. J. Remote Sensing, 19(17), 3383-3397.

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.

Pestrong, R., 1969, "Multiband Photos for a Tidal Marsh", Photo. Eng. and Remote Sensing, 35(5), 453-467.

Reineck, H.E., 1967, "Layered Sediments of Tidal Flats, Beaches, and Shelf Bottoms of the North Sea", American Assoc. Adv. Sci. Spec. Publ., 83, 191-206.

Van Straaten, L.M.J.U., 1961, "Sedimentation in Tidal Flat Areas", The Canadian Society of Petroleum Geologists, 9(7), 203-213.

Walter, H., 1955, "Tidal Flat Deposits (Wattenschlick)", The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Recent Marine Sediment: A symposium, 195-206.

Weismiller, R.A., Kristof, S.J., Scholtz, D.K., Anuta, P.E., and Momin, S.A., 1977, "Change Detection in Coastal Zone Environment", Photo. Eng. and Remote Sensing, 43(12), 1533-1539.

Wentworth, C. K., 1922, "A Scale of Grade and Class Terms for Clastics Sediments", Journal of Geology, 30, 377-392.

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.

Zainal, A.J.M. and Dalby, D.H., 1992, "Monitoring marine ecological changes on the east coast of Bahrain by Landsat TM", The International Society for Optical Engineering USA, SPIE, 1930(2), pp.795-808.