

Landsat 위성영상을 이용한 강화도 남단 갯벌의 퇴적 유형 분류

박성우 · 정종철*

지오셋텍(주), 남서울대학교 지리정보공학과*

Classification of Sediment Types of Tidal Flat Area in the South of Kanghwa Island using Landsat Images

Sungwoo Park · Jongchul Jeong*

Geosattek Inc., Dept. of Geoinformatics Eng. Namseoul University*

Abstract

In this study we classified sediment types of tidal flat using Landsat-5 images. This is for groping the method which can analyze correctly various kinds of sediment faces through satellite images. This work was performed by referencing ground truth of sediment faces which was investigated in the field. With this data we classified Landsat-5 image of 1997's to grope a most suitable classification method. As a result, in case of south Kanghwa island area, it was the optimum way to compound band 4, 5, 7 of Landsat-5 TM imagery. And, this work classified 3 kinds of sediment faces - M(mud), sM(sandy mud) and (g)M(slightly gravelly mud) - in land and mixed water area.

It is anticipated that if this method is applied to a image of extremely lower sea level time, it can classify the sediment types of a broad tidal flat area. This is expected to be a beginning of estimating the effect of sediment faces to the change of the tidal flat ecosystem.

Key words : Tidal flat, Landsat TM, Sediment types, Kanghwa island

I. 서론

갯벌은 육상 생태계와 해양 생태계가 만나는 경계로서 주기적인 대기와의 노출, 하구로부터의 담수 유입, 저서 생물이 거주하기에 적당한 퇴적 환경, 풍부한 생산성 등으로 인해 다양한 생물 종

들이 서식하고 있어 생태계에서 무척 중요한 위치를 차지하고 있다. 또한 육상과 해양의 경계를 이루고 있기 때문에 물질과 에너지 흐름의 양과 성향을 조절하는 중요한 인자로 작용한다. 이외에도 다양한 기능과 가치를 지니고 있어 적극적으로 보호하고 보전해야 할 충분한 가치가 있다.

하지만, 갯벌의 경우 육역과 해역의 접이치대로서 국가적인 차원에서 제작되는 지형도와 연안 해역도 또는 각종 해도에서 그 지형이 명확하게 표기되어 있지 않다. 이로 인해 갯벌에 대한 지형 정보 획득이 용이하지 않고 기본 공간자료를 구축하는 데에도 어려움이 있다. 이와 함께 연약한 지반, 주기적인 조석 현상, 광활한 면적 등의 이유로 접근성이 떨어져 효과적인 연구가 어려운 지역이라 할 수 있다.

원격탐사는 갯벌 연구의 제약점들을 극복할 수 있는 장점을 지닌 것으로 평가되어 왔다. 특히, 인공위성 영상은 장기적이고 주기적으로 자료를 획득할 수 있고, 다중분광(multispectral) 영상을 통해 원하는 목적에 적합한 자료를 선택할 수 있다는 점들로 인해 갯벌 연구에 유용하다.

갯벌탐사시 인공위성영상 자료의 분광도 특성에 영향을 미치는 주요한 요인들은 갯벌 토양의 입자 크기, 수분 함량, 유기물 함량 등이다. 일반적으로 토양의 입자 크기가 크면 함수량이 감소하고, 함수량이 적으면 유기물 함량도 적어지게 된다. 이와 반대로, 토양의 입자 크기가 작을수록 공극이 작아져 함수량은 증가하게 되고 유기물 함량도 커지게 된다(Jensen, 2000).

토양의 입자 크기, 함수량과 유기물 함량은 분광도 특성에 영향을 미친다. 일반적으로 다른 조건이 같다면 입자 크기가 작은 토양이 분광도 값이 크고, 수분 함량이 많은 토양보다 적은 토양의 분광도 값이 크다. 또한 유기물 함량을 많이 포함한 토양보다는 유기물을 적게 포함한 토양의 분광도 값이 큰 값을 나타낸다.

토양의 특성을 드러내는 기본적인 정보로 입도가 사용되는데, 특히 갯벌 퇴적물의 입도는 연성 저질에 서식하는 생물의 서식방법을 결정하는 일차적 환경 요인이다. 뿐만 아니라 퇴적물 입도는 퇴적물내 공극수의 함량, 염분도, 용존산소의 양을 결정하여 이차적으로 생물의 분포에 영향을 준다. 따라서 갯벌의 생물 분포를 이해하기 위해

서는 퇴적유형에 대한 이해가 반드시 필요하다.

우리나라의 갯벌 퇴적물은 육지로 갈수록 세립(細粒)해지고 바다쪽으로 갈수록 조립(粗粒)해진다. 보통 상부조건대는 니질, 중부조건대는 니사질, 하부조건대는 사질퇴적상이다. 퇴적물 분포의 이러한 경향은 조류의 유속과 관계가 있는데, 조류의 유속은 하부조건대에서 상부조건대로 오면서 점점 약해진다. 이때 유속이 강한 하부조건대에서는 퇴적물이 부유하고 유속이 약한 상부조건대에서는 주로 퇴적이 일어난다. 입자가 세립할 수록 상부조건대까지 조류에 밀려온다(고철환, 1997).

이러한 갯벌 퇴적유형의 특성을 원격탐사에 의해 국내에서 적용한 사례는 다음과 같다.

조명희 등(1999)은 Landsat TM 영상을 이용하여 갯벌의 퇴적유형을 mud flat, mixed flat, sand flat의 3가지로 분류하였다. 연구 결과 갯벌은 훈련지역을 선정할 수 없어 감독분류는 불가능했고, 비계층적 군집화(non-hierarchical clustering) 방법인 ISODATA 방법에 의해 무감독분류를 실시하였다. 또한 갯벌의 미지형 분류에는 Landsat TM 영상의 5번, 7번 밴드가 효율적이라고 주장하였다.

이기철 등(1996)은 GIS와 원격탐사를 이용하여 연안습지목록을 개발하고 이를 습지자원의 관리와 이용·개발시 중요한 기초자료로 활용할 수 있는 방안을 모색하였다. 한국해양연구원에서는 갯벌의 효율적인 이용과 보존을 위해 시범적으로 갯벌생태지도의 작성을 시도한 바 있다(한국해양연구원, 1998).

본 연구에서는 Landsat-5 TM 위성영상자료를 이용하여 갯벌 표층의 입도에 따른 퇴적유형을 분류하였다. 감독분류와 무감독분류의 분류기법을 적용하는데 있어서 갯벌입자의 특성에 의한 효과적인 분광해상력의 밴드영역을 찾아내기 위해 가시영역과 근적외선영역의 밴드를 조합하여 퇴적유형 분류에 적용하였고, 이를 현장관측 자료와 비교하여 가장 효율적인 밴드 조합을 찾는

것이 본 연구의 목적이다.

II. 연구지역 및 자료

본 연구의 공간적 범위는 강화도 남단에 위치한 갯벌로서 행정구역상으로는 화도면에서 시작하여 길상면까지 이르는 지역의 남쪽에 광활하게 퍼져 있는 갯벌이며, 강화도 서안의 '장곶돈대'에서 시작하여 동안의 '초지진'까지 이르는 지역이다(그림 1).

이 지역은 세계자연기금(IUCN)과 아시아 습지 보호협약(Asian Wetlands Bureau: AWB)이 목록화한 우리나라 주요습지 107,308.6ha의 10.45%, 경기도 해안습지 전체의 20%에 해당하는 중요한 부분으로 그 가치가 매우 높게 평가되고 있다(국립공원관리공단, 1998).

강화도 전체 갯벌의 면적은 최저 저조면 시 약 105km²에 달하며, 여차리-동막리-동검리를 잇는 남부지역 즉, 강화만의 갯벌은 육지로부터 최대 거리 약 6km, 면적 약 90km²로 강화도 갯벌 면적의 약 86%를 차지하고 있다(한국해양연구원, 1998a).

본 연구에서는 1997년 10월 6일에 촬영된 LANDSAT-5 TM 영상을 사용하였다. 1997년 TM영상은 한국해양연구원의 입도분석자료가 실측된 시기에 해당하는 것으로 입도분석자료와 비

교하여 정확도를 검증하기 위해 선정되었다.

또한 해안선 추출을 위해 강화도 지역의 1/25,000 지형도를 사용하여 디지털타이핑을 수행하였고, 영상분류의 정확도를 검증하기 위해 한국해양연구원에서 실측한 강화도 남단의 입도분석 자료를 사용하였다.

한국해양연구원에서는 1997년과 1999년에 걸쳐 강화도 남단 갯벌의 표층퇴적물에 대해 샘플 조사를 실시하고 그 입도 특성과 퇴적상을 분석하였다. 이 과정에서 gravel, sand, silt, clay의 구성비를 분석하고 Folk(1968)의 기준을 사용하여 표층퇴적물을 6가지(M, sM, S, mS, (g)M/(g)sM, (g)m/gmS) 유형으로 구분한 바 있다(한국해양연구원, 1999).

본 연구에서는 그림 2와 같이 강화도 남단 갯벌에 83개의 정점을 설정하여 표층퇴적물 입도특성, 지화학 분포 및 표층퇴적물의 이동경로 그리

표 1. 강화도 남단 갯벌의 퇴적상 유형

퇴적상	유형	퇴적상	유형
M	mud	S	sand
sM	sandy mud	mS	muddy sand
(g)M	slightly gravelly mud	gmS	gravelly mud sand
(g)sM	slightly gravelly sandy mud	(g)mS	slightly gravelly muddy sand

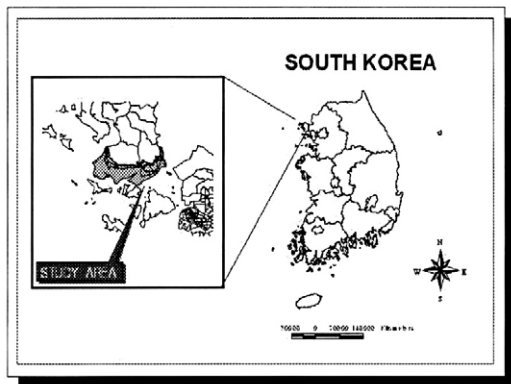


그림 1. 연구대상지역

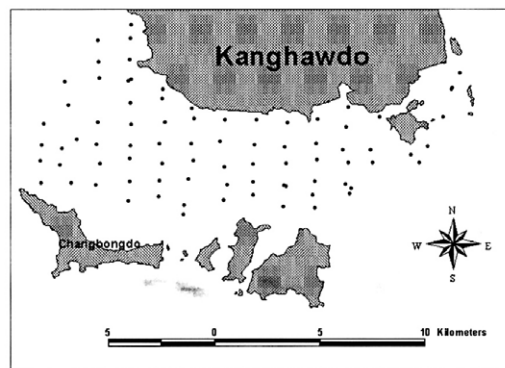


그림 2. 강화도 남단 갯벌의 83개 샘플링 정점 위치도

고 측선에서의 지형변화, 지화학적 특성 및 집적을 변화를 파악한 결과를 바탕으로 위성영상 자료의 분석을 실시하였다.

III. 연구 방법

입도분석자료를 공간자료로 변환하기 위해 한국해양연구원에서 발행한 보고서(한국해양연구원, 1999)의 입도 분석표를 참조하였다. 각 정점의 좌표값을 Text 파일로 작성한 후 ArcInfo를 이용하여 위상을 부여하여 포인트 커버리지를 생성하였다. 이 결과를 영상과 중첩시켜 영상의 갯벌 지형 분류 결과와 비교하였다.

위성영상의 처리를 위해서는 ER-Mapper 6.0을 사용하였고, 입도분석 자료의 처리 및 기타 작업에는 ArcView 3.2a와 ArcInfo 8.0을 사용하였다.

연구에 사용된 영상들은 기하보정을 거친 후, 갯벌과 해양의 경계선을 추출하였다. 경계선을 추출하기 위해 먼저 적외선 영역에 해당하는 밴드(Band 5)만을 따로 추출한 후 Histogram 상에서 Density Slicing을 적용하였다. 이렇게 되면 대기에 노출된 갯벌과 해수에 덮인 지역의 분광도 값 차이가 확연하게 드러나게 된다. 이 분광도 값을 기준으로 육지에 1, 해양에 0의 Bitmap value를 부여하고 벡터라이징을 수행하였다. 이 작업

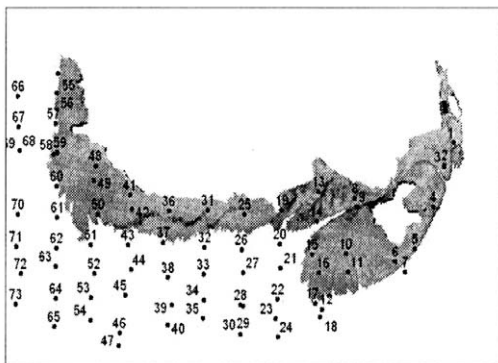


그림 3. 갯벌 지역을 마스킹한 1997년 영상과 샘플 정점의 위치

을 통해 갯벌과 해양의 경계선을 추출하였다.

강화도 지역의 축척 1/25,000 지형도를 디지털 이징하여 해안선을 추출하였다. 그리고 이 해안선을 영상에서 추출한 갯벌 경계선과 중첩한 후 갯벌 지역에 해당하는 폴리곤을 생성하였다. 이렇게 생성한 갯벌 지역 폴리곤을 사용하여 위성영상에서 갯벌 지역만을 마스킹하여 추출하였다(그림 3).

위성영상에서 나타난 갯벌은 조석시간의 차이에 의해 현장조사 결과를 얻은 전체 조사정점보다 적은 지역만이 갯벌의 퇴적 유형이 분석에 적용되었다(그림 4).

본 연구에서 갯벌의 퇴적 유형을 분류하기 위해 갯벌 지역만을 마스킹한 영상을 대상으로 무감독분류를 시도하였고 무감독분류 방식 중 ISODATA(Iterative Self - Organizing Data Analysis Technique) 방식을 사용하였다. 무감독분류 방식을 택한 이유는 입도분석 자료를 이용하여 감독분류를 시도해보았지만 모식지역의 선정에 어려움이 있었고, 가시광선 영역에서의 분광도 값 범위가 30~80 사이에 불과하여 Scattergram을 통해 확인해볼 때 서로 다른 퇴적유형 사이의 변별력이 떨어졌기 때문이다. ISODATA는 통계학적인 분류 절차를 반복적으로 수행하면서 군집

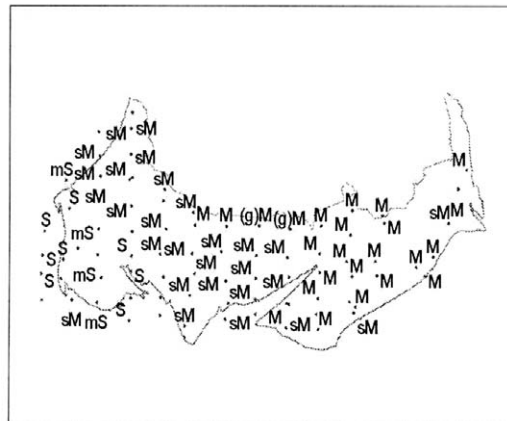


그림 4. 강화도 남단의 갯벌지역과 각 조사정점별 퇴적상 분포

화를 수행하고, 최소한의 분석자 입력만으로도 작업이 가능하기 때문에 분광도 값 분포가 뚜렷하지 않은 갯벌 지역의 분류에 적절하다고 판단되었다.

무감독분류를 통해 갯벌의 퇴적 유형을 분석할 수 있는 최적의 밴드 조합을 모색하기 위해 1997년 영상의 갯벌 지역 안에 포함되는 26개의 퇴적상 자료에 대해 분광도값을 조사하였다. 1997년 영상의 갯벌지역에 포함된 26개의 정점은 M, sM, (g)M의 3가지 퇴적상을 보였고 이 유형에 해당하는 정점의 수는 각각 16, 7, 3개였다. 각 밴드별로 26개 정점에 대해 표준 편차를 계산해본 결과 5번 밴드에서 편차가 가장 컸고, 다음으로 7번 밴드가 큰 값을 보였다(표 2).

이 사실에 근거하여 밴드 5번과 7번을 중심으로 다양한 밴드 조합 및 분류 군집수를 사용하여 무감독분류를 시도하였다. 밴드 조합은 갯벌의 경계선 추출에 사용되었고 분광도 값 분석에서도 가장 큰 표준편차를 보인 5번 밴드를 중심으로 사용하였고, 여기에 표준편차가 큰 순서대로 7번, 4번, 3번등을 같이 조합하여 분류를 하였다. 그리고, 분류 군집은 이 지역에서 드러난 3가지 퇴적 유형 외에 mixed water, land 등의 존재까지 고려

하여 3~5개 정도의 다양한 방식으로 분류를 시도하였다.

IV. 결과 및 고찰

ISODATA 무감독분류를 통해 1997년의 영상을 분류한 결과 퇴적 유형 중 (g)M은 제대로 분류가 되지 않았다. 따라서 이를 제외한 4 가지(M, sM, Mixed water, Land) 분류 군집을 중심으로 분류를 하였다.

밴드 조합에 있어서는 6가지 유형(Band 5/ Band 5, 7/Band 4, 5, 7/Band 1, 4, 5, 7/Band 3, 4, 5, 7/Band 1, 3, 4, 5, 7)을 사용하여 작업을 하였다. 이러한 결과를 연구 대상 지역의 동쪽에 위치한 황산도 주변 지역을 비교하여 현장조사 결과와 높은 정확도를 나타내는 분류 결과를 선정하였다.

이 지역은 원래 작은 섬이었던 황산도와 강화도 길상면 사이를 막아 물이 고여 있는 지역으로 육지와 갯벌, 그리고 해수의 분광특성을 동시에 살펴볼 수 있는 지역이다(그림 5).

5번 단일 밴드의 분류결과(그림 6) 또는 5번과 7번 밴드를 같이 사용한 분류(그림 7)의 경우 황

표 2. 각 퇴적유형별 분광도의 평균, 평균에 대한 표준편차, 최대값, 최소값, 중간값

	퇴적유형	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	Band7
Avg.	M	74.86	34.71	39.07	30.50	40.14	118.50	19.29
	sM	76.86	34.29	37.43	29.00	38.29	117.71	17.43
	(g)M	75.67	34.67	39.00	30.33	27.33	117.33	11.00
St.Devof Avg.		1.01	0.23	0.93	0.82	6.92	0.59	4.35
Max.	M	79	38	43	36	57	122	25
	sM	79	35	40	33	55	121	28
	(g)M	77	36	41	32	33	120	16
Min.	M	71	33	35	26	27	114	12
	sM	75	33	35	25	21	113	10
	(g)M	74	34	37	28	20	114	7
Median	M	74.5	34.5	39.5	31	40.5	119	19.5
	sM	77	35	37	29	37	118	15
	(g)M	76	34	39	31	29	118	10

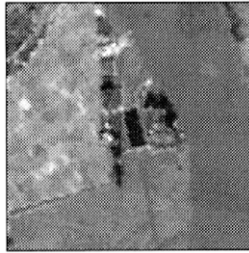


그림 5. 황산도 인근의 1997년 영상 사진

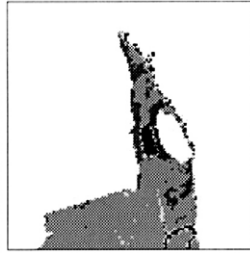


그림 6. 분류결과(밴드 5번 사용)

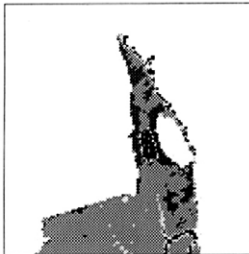


그림 7. 분류결과(밴드 5, 7번 사용)



그림 8. 분류결과(밴드 4, 5, 7번 사용)

산도 남쪽 갯벌 지역에 Land(적색)로 분류된 지점들이 나타났다. 이에 비해 4, 5, 7번 밴드를 함께 사용한 경우, 황산도 남단과 북단 지역이 영상에서처럼 갯벌로 분류되어 가장 현장조사 결과와 근접한 분류 결과를 보였다(그림 8).

6가지 밴드 유형 중에서 Band 4, 5, 7번 이외에 1, 3번 밴드를 같이 사용한 경우는 Band 4, 5, 7번

을 사용한 결과와 큰 차이가 없었다. 따라서, 강화도 남단 갯벌의 퇴적 유형 분류에 있어서 Landsat TM 영상의 4, 5, 7번 밴드를 같이 사용하는 것이 가장 효율적이면서도 좋은 결과를 낳는 것으로 판단된다. 표 3은 Band 4, 5, 7번을 사용하여 무감독분류를 수행한 결과에 대한 Error Matrix이다.

Land의 경우는 샘플 자체가 처음부터 존재하지 않았기 때문에 영상 분류에서는 존재하지만 Error Matrix에서는 계산에 포함시키지 않았다. 그리고, 26개 정점 중에서 9번째 정점은 영상으로 확인한 결과 확연하게 물로 덮인 지역으로 판명되어 Mixed water 지역으로 간주하여 계산하였다. 무감독분류 결과 mud 지역은 producer's accuracy와 user's accuracy 모두 80%로 가장 높은 분류 정확도를 보여주었고, slightly gravelly mud((g)M)는 분류가 되지 않아 0%의 값을 보였다.

전체적인 분류 정확도는 65.38%였고, Kappa coefficient는 0.3842로 비교적 분류 정확도를 인정할 수 있는 정도인 것으로 판단된다.

최종적으로 분류된 강화도 남단 갯벌의 퇴적 유형 분포는 그림 9와 같다.

좀더 정확한 갯벌의 퇴적 유형 분류를 위해서는 중적외선 영역의 5, 7번 밴드 외에 근적외선 밴드를 같이 사용하는 것이 더 나은 결과를 산출

표 3. Band 4, 5, 7을 사용한 무감독분류의 Error Matrix

1997년		Reference data						User's accuracy	
		M	sM	(g)M	mixed water	sum	Pr		
Classified data	M	12	3	0	0	15	0.5769	0.8000	
	sM	3	4	3	0	10	0.3846	0.4000	
	(g)M	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000	
	mixed water	0	0	0	1	1	0.0385	1.0000	
	sum	15	7	3	1	26			
	Pc	0.5769	0.2692	0.1154	0.0385				
Producer's accuracy		0.8000	0.5714	0.0000	1.0000				
Overall accuracy								0.6538	
Kappa coefficient								0.3842	

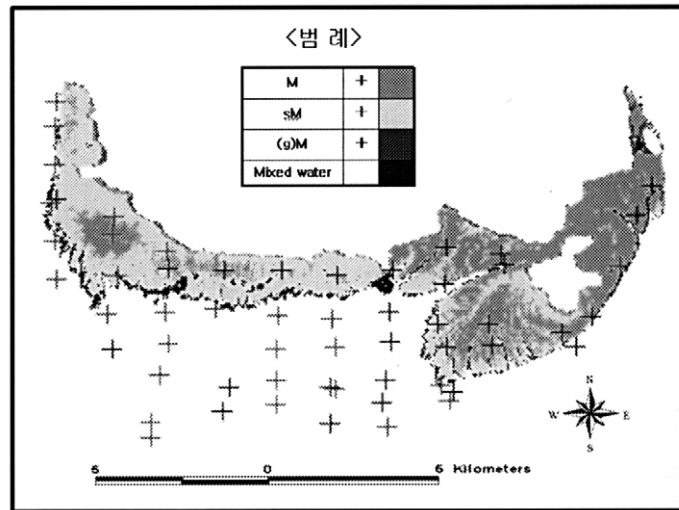


그림 9. 97년 영상의 무감도분류 결과(4, 5, 7번 밴드 사용) 및 실측 퇴적상 분포

하는 것으로 드러났다. 본 연구에서 선정된 방식을 다른 시기의 영상에 적용하여 시간의 흐름에 따라 갯벌의 미세 지형이 어떻게 변화하는지 관찰할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 영상 분류를 통해 각 퇴적상 유형이 차지하는 면적을 계산하고 이로 인해 갯벌 생태계에 미친 영향을 추정해 볼 수 있을 것이다.

퇴적물 구성비는 갯벌 지형의 특징을 보여주는 한 측면이다. 1991년에 환경처가 강화도 동막리, 선두리, 흥왕리에 대해 실시한 강화도 남단 자연생태계 조사결과와 한국해양연구원의 1997년 8월 조사 결과를 비교해보면, 강화도 남단 연안에서 사질퇴적물은 크게 감소하였고, 니질 퇴적물은 반대로 증가한 것이 확인되었다. 대표적으로 동막리 갯벌의 경우 1991년 조사에서는 퇴적물 구성비가 모래 33-45%, 빨 55-67%였다. 하지만, 1997년에 실시한 한국해양연구원의 조사 결과는 모래 2%, 빨 98%의 구성비를 보였다. 이러한 경향은 선두리와 흥왕리에서도 동일하게 드러났으며 이는 이 지역에 니질 퇴적물이 계속 유입되어 극심한 세립화 현상을 보이고 있음을 알 수 있게 해준다(한국해양연구원, 1998b).

위성영상을 이용한 갯벌의 퇴적 유형 분류는 이처럼 급격하게 변하는 갯벌 표층 퇴적물의 구성비를 비교적 쉽게 관측할 수 있다는 측면에서 유용하다고 할 수 있다.

본 연구에서 참조할 수 있는 퇴적상 실측 자료가 26개 정도밖에 되지 않았고, 또한 퇴적상의 유형도 세 가지로 좀더 다양한 유형의 퇴적상 분류를 시도하는 데에는 한계가 있었다. 향후 이를 극복하기 위해서는 퇴적상 실측 시기와 일치하는 극저조위 영상을 확보하는 것이 선결 과제라 할 수 있다. 이를 위해 동일지역에서 관측된 다양한 센서의 자료를 분광해상력과 공간해상력의 특성에 의해 복합적으로 활용하는 방안을 제안할 수 있다.

참고문헌

- 고철환 외, 1997, 『해양생물학』, 서울대학교 출판부.
- 국립공원관리공단, 1998, 『태안해안국립공원의 해안습지 및 비교대상지 조사(최종보고서)』.
- 한국해양연구소, 1999, 『갯벌의 효율적인 이용과

- 보존을 위한 연구』(3차 년도 연차보고서).
 _____, 1998a, 『갯벌의 효율적인 이용과 보존을 위한 연구』(2차 년도 연차보고서).
 _____, 1998b, 『강화도 남단지선 어장 주변해역의 퇴적환경 기초조사』.
- 이기철, 임병선, 우창호, 양효식, 1996, “지리정보 체계와 원격탐사에 의한 연안습지목록 개발에 관하여”, 한국지형공간정보학회논문집, 4(2), 149-159.
- 조명희, 조화룡, 1999, “위성영상을 이용한 줄포만 간석지의 미지형 분류와 지형적 특성”, 대한원격탐사학회지, 15(3), 217-225.
- Folk, R. L., 1968, Petrology of sedimentary rocks, Hemphill's, Austin, Texas, 170pp.
- Lee, H.J., Y.H. Kim, Y.S. C, 1998, “Sedimentology of Tidal Flats on the West Coast, Korea”, *Ocean Research*, 20(2) Special, 153-156.
- Lunetta, R.S. & M.E. Balogh, 1999, “Applications of Multi-Temporal Landsat 5 TM Imagery for Wetland Identification”, *PE & RS*, 65(2), 1303-1310.
- Jensen, J.R., 2000, 『Remote sensing of the environment: an earth resource perspective』, Prentice Hall.
- Mitsch, W.J. & J.G. Gosselink, 2000, 『Wetlands』, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc.
- Yi, Gi-Chul, 1993, “Multiple Utilization of a Satellite Image for Wetland Assessment Mapping”, *Bulletin of Littoral Environment*, 10, 57-71.
- Yun, Y.S & K.S. Lee, 2000, “Extraction of Waterline on the Tidal Flat in Kyong-gi Bay using Optical Remote Sensor Data”, *Proc. ISRS '2000*.