

IKONOS를 이용한 천수만 황도 조간대 퇴적상 특성

유주형^{1*}, 김창환², 우한준², 박찬홍², 유홍룡², 안유환¹, 원중선³

한국해양연구원 해양위성사업단¹
한국해양연구원 해저환경·자원연구본부²
연세대학교 지구시스템학과³
경기도 안산시 상록구 사2동 1270
E-mail) jhryu@kordi.re.kr

Sedimentary Facies Characterization of Hwangdo Tidal Flat in Cheonsu Bay by IKONOS Image

Joo-Hyung Ryu, Chang-Hwan Kim, Han Jun Woo, Chan-Hong Park, Hong-Rhyong Yoo, Yu-Hwan Ahn, Joong-Sun Won

요약

원격탐사 자료를 이용하여 조간대 표층퇴적상의 분류가 가능하다면 현장조사와 상호 보완적으로 사용될 수 있다. 공간해상도 30 m 급의 Landsat 위성 자료를 이용하여 0.0625 mm 입자 기준에 의한 조간대의 표층 퇴적상 분류를 한 연구가 몇 차례 보고 된 바 있지만, 스펙트럴 값만으로 퇴적상을 분류하기 위해서는 몇 가지 문제점이 따른다. 첫째는 점이적으로 변하는 조간대에서 입도와 위성자료 공간해상도와의 스케일 차이로 인한 mixed pixel(mixel)을 어떻게 분류할 것인가 이고 두 번째는 입도 요인 이외의 조간대 환경요인을 어떻게 고려해야 되느냐 하는 것이다. mixel에 대한 대안으로 4 m 공간해상도의 IKONOS 영상을 이용하였으며, 입도 이외의 다른 환경 요인은 조간대 지형과 조류로 (tidal channel)를 파악하여 퇴적상의 특성과 비교하였다. IKONOS를 이용한 조간대 퇴적상 분류 결과는 현장 조사 자료와 잘 일치하였으며 지형적으로 높고 조류로가 발달한 부분에 이질 퇴적상이 위치하는 것을 알 수 있었다. 이 연구는 IKONOS와 같은 공간해상도를 갖는 KOMPSAT II 위성이 2004년 진수되어 서해조간대 지역에 대해 다시기의 많은 영상을 확보할 수 있다면 조간대의 지형변화와 생태계 변화 등의 조간대 모니터링 연구에 활용되어 연안의 종합적이고 효율적인 관리에 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

1.서론

원격탐사를 이용하여 조간대 퇴적상 분류에 대한 많은 연구가 이루어졌음에도 불구하고 조간대 퇴적학자들이 거의 이용하지 않고 있으며 계속 연구가 계속 진행

중인 이유는 무엇일까? 주원인은 사용된 위성자료와 대상인 조간대 환경과의 관계를 종합적이고 과학적으로 분석하려는 노력이 부족했던 결과이며 이는 다시 아래와 같이 세 가지 원인으로 세분될 수 있

다.

첫째는 사용된 위성자료의 특성을 고려하지 않고 퇴적학에서 많이 사용하는 입도 기준 (4 ϕ 입자 이상의 퍼센트, Folk, 1965)으로 분류를 했다는 것이다. 초창기와 최근 몇몇 연구에서 공간해상도 30 m 급의 Landsat 자료를 이용하여 조간대 표층의 반사도만을 상대적으로 분류한 후 Folk의 기준에 의해 분석된 몇 개의 입도 분석자료와 비교하여 분류 목록으로 할당하였는데 이는 위성 센서의 입장이 아닌 단지 퇴적학자의 기준을 도입한 결과이다 (유주형 외, 2003; Ryu et al., 2003). 두 번째는 위성자료부터 얻어지는 조간대 반사도는 입도만의 함수가 아니라는 것이다. 즉, 위성자료 값은 주로 조간대의 표층퇴적물과 생물체, 지형과 함수율 등에 의해 주로 영향을 받으며, 이들 환경요인들의 상호 복합적 작용에 의해 결정되기 때문에 위성자료 분류에 의해 조간대 표층 분포를 파악하기 위해서는 다른 환경 요인을 보정하거나 고려해주어야 한다 (Bartholdy and Folving, 1986; Ryu et al., 2003). 세 번째는 조간대 표층의 비균질하고 점이적인 특성에 맞는 분류 기법의 선정이다. 조간대 표층을 이루고 있는 퇴적물이나 생물체는 수 μ m 크기로 이루어져 있어서 공간해상도 몇 m 급의 고해상도 위성자료에서도 한 종류의 균질한 물질로 구성되기 어렵고 변화양상도 매우 점이적이다 (Rainey et al., 2003; Lee et al., 2003).

위에서 언급한 세 가지 문제점을 해결하기 위해서는 원격탐사 전문가와 퇴적학자들 간의 유기적인 공동 연구가 필수적이며, 위성자료와 조간대의 특성을 정확히 파악하는 것이 원격탐사 자료를 이용한 조간대 표층 퇴적상 분류의 정밀도를 좌우하게 된다. 이 연구에서는 공간해상도 4 m급의 고해상도 위성인 IKONOS 위성

자료와 Landsat TM/ETM+ 자료를 이용하여 조간대 퇴적상 분류에 영향을 주는 조간대 지형 환경 특성을 파악하고 IKONOS를 이용한 퇴적상 분류도와 비교하였다.

2. 연구지역

연구지역은 충청남도 서해안에 위치한 천수만의 황도 조간대이다 (Fig. 1). 조석은 반일주조이며, 대조차 633 cm, 소조차 286 cm로서 평균조차가 459 cm인 대조차 환경에 속하고 최대유속은 창조류가 약 100 cm/sec, 낙조류는 약 70 cm/sec 이다.



Fig. 1. Location map showing 9 sampling locations of surface sediments

황도 남쪽에 발달한 조간대의 폭은 1.65 km, 길이는 5.15 km 정도이며, 황도와 안면도 사이에 조류로가 발달해 있으며 황도 조간대 중심지역에 혀 모양으로 조류세곡이 발달되어 있다. 연구지역의 퇴적상은 만조선에서 저조선 방향으로 이질 퇴적상, 혼합 퇴적상 그리고 모래 퇴적상으로 구성되어 있으며, 물리적 퇴적구조들은 저서 생물체에 의해 많은 부분이 교란되어 있다(김여상, 1989).

3. 위성자료 및 현장자료

이 연구에서는 IKONOS 와 Landsat TM/ETM+ 자료가 사용되었다. 황도 조간대의 전체적인 DEM (Digital Elevation Model)을 얻기 위하여 2000년 3월부터 2001년 11월까지의 Landsat TM/ETM+ 위성영상을 이용하였다. 조간대 조류로에 의한 구조도와 퇴적상 분류도를 만들기 위해 2001년 2월 26일 얻어진 IKONOS 영상을 이용하였다. IKONOS 자료는 수평해상도 1 m 미만의 정밀도를 갖는 Differential GPS (Trimble Co., Pathfinder Pro XR) 이용하여 2003년 10월에 천수만 주변의 방조제나 수문 등 13곳의 위치 보정점 (ground control point)을 잡아 지형보정을 실시하였으며, 다른 Landsat TM/ETM+ 자료는 보정된 IKONOS 영상을 이용하여 영상 대 영상 (image to image) 방법으로 0.5 픽셀 이내의 오차로 지형보정을 실시하였다.

입도분석을 위하여 황도 조간대의 부근에서 2003년 6월에 만조시 선박을 이용하여 Grab sampler로 9개 정점의 자료를 채취하였다. 현장에서 채취된 시료는 실험실로 옮겨진 후 약 5 g을 1,000 ml 비이커에 담아 탄산염 성분과 유기물 제거를 위하여 0.1 N 염산 (HCl)과 10 % 과산화수소수 (H₂O₂)로 24시간 이상 반응시켰다. 입도 분석이 준비된 시료는 4.0 φ 체를 이

Table 1. Grain size analysis

Station No.	Composition (%)				Sediment Type by Folk
	Gra.	Sand	Silt	Clay	
14	4.69	47.11	28.52	19.68	(g)sM
17	0.53	25.75	37.44	36.28	(g)sM
18	0	81.11	12.93	5.96	zS
21	0	34.72	44.77	20.51	sZ
22	0	66.26	24.67	9.08	zS
25	0	21.02	54.49	24.49	sZ
26	0	74.13	20.46	5.41	zS
30	0	71.61	18.76	9.63	mS
31	0.31	73.64	16.89	9.16	(g)mS

용하여 습식체질에 의해 조립질과 세립질 퇴적물로 분리하였다. 4.0 φ 이하의 모래 시료는 0.5 φ 간격으로 Gradex 2000 입도 분석기 (Particle size analyzer)로 약 10분간 체질한 후 입도 등급별로 무게 백분율을 구하였다. 4 φ 이하의 펄 시료는 전체를 대표할 수 있는 시료 2g을 취해 80 ml의 0.1 % calgon 용액을 넣고 초음파 분쇄기와 자기진동기로 시료를 균일하게 분산시킨 후, X-선 자동입도분석기인 Sedigraph 5100을 사용하여 입도 무게 백분율을 구하였다. 입도별 무게 백분율은 Folk and Ward(1957)의 Inclusive Graphic 방법에 의하여 평균입도, 분급도 등의 통계변수들을 구하였다 (우한준과 세종길, 2002). Table 1은 9개 정점에 대한 입도 분석 자료를 정리한 것이다.

4. 연구방법

이 연구에서는 원격탐사 자료를 이용하여 조간대 지형 환경을 이해하기 위하여 조간대 지형과 조류로에 의한 조간대 texture를 분석하였다. 조간대 지형은 경사도 약 0.1° 정도로 육지에서 바다 쪽으로 갈수록 낮아지는 지형 형태를 말한다. 비록 매우 낮은 지형 경사를 보이지만 조간대 면적이 수 km에 달하므로 노출시간은

위치에 따라 상당한 시간의 차이를 보일 수 있다. 이와 같은 차이에 의해 같은 퇴적상으로 이루어졌어도 상부 혹은 하부 조간대에 위치했느냐에 따라 위성에서 얻어지는 광학 반사도는 달라질 수 있다. 둘째, 조간대의 조류로나 세곡의 발달한 지역은 간조시 배수구배에 영향을 주어 주변의 함수율을 급격히 낮추게 된다. 이는 위성자료의 광학 반사도에 영향을 주게 되어 다른 지역의 같은 퇴적상보다 훨씬 높은 반사도를 보일 수 있다. 따라서 원격 탐사 자료를 이용하여 조간대의 퇴적상을 효율적으로 분류하기 위하여 위성자료를 이용한 조간대 지형분석을 실시하였다.

4.1 조간대 지형 환경 분석

위성자료를 이용하여 조간대의 지형을 파악하기 위하여 waterline 방법을 이용하였다. 2000년 3월부터 2001년 11월까지 약 1년 8개월간 얻어진 11개의 Landsat TM/ETM+ 영상 중 조위가 다른 5개의 영상으로부터 Ryu et al.(2002)의 방법에 의해 해안선을 추출하였으며, 추출된 해안선에 대입되는 고도 값으로 위성 영상이 획

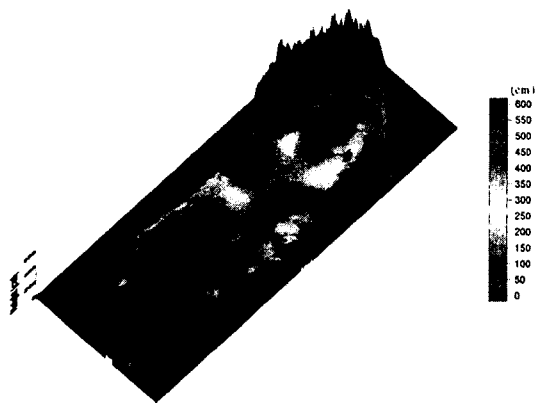


Fig. 2. Intertidal DEM generated by waterline method

득된 시점에 얻어진 황도 지역에서 가장 가까운 국립해양조사원 보령 검조소의 10분 간격 실측 조위 자료를 이용하였다.

조간대의 조류로나 세곡은 일반적으로 이질 퇴적상에서 폭이 좁고 복잡하게 발달하는 반면 사질 퇴적상에서는 폭이 넓고 단순한 직선형으로 발달한다 (Richard, 1985). 따라서 위성자료의 스펙트럴 값과는 별도로 조간대 texture를 이용한 조간대 퇴적상의 유추가 가능하다. texture 분석을 위하여 Haralick(1986)이 제안한 GLCM(Gray-level co-occurrence matrices) 방법을 이용하여 엔트로피 (entropy)를 구하였다.

4.2 조간대 퇴적상 분류

IKONOS 영상을 이용하여 조간대 퇴적상을 분류를 위하여 hard classification 방법으로는 최대우도법을 사용하였으며 soft classification 방법으로는 linear spectral unmixing (LSU) 방법을 적용하여 보았으나 LSU 방법은 조간대 퇴적상 분류에는 효과

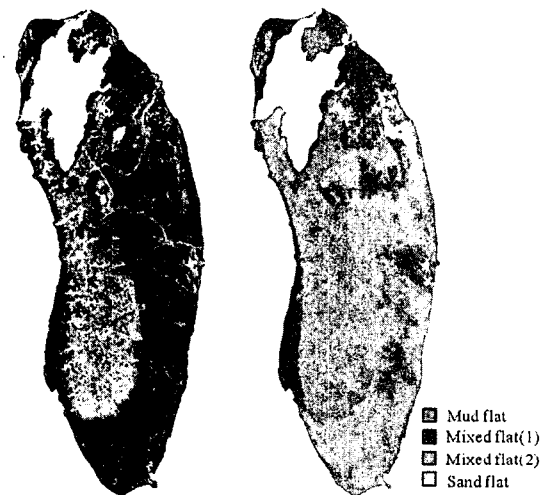


Fig. 3. Left panel is the texture map and right panel is the sedimentary facies classification map.

적이지 못하여 최대우도법의 결과만 활용하였다. 그러나 점이적이고 혼재된 상태의 조간대 퇴적상의 분류에 어떤 방법이 효과적인지에 대해서는 추후 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

5. 연구결과 및 토의

위성자료로부터 얻어진 조간대 퇴적상 분류도와 조간대 지형 환경을 비교하여 보았다. 이 연구에서 조간대 퇴적상은 조간대의 지형은 물론 texture와 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 황도조간대의 경우, 조간대 지형이 높은 곳에 이질 퇴적상이 분포하고, 조류로가 잘 발달되어 함수율이 매우 낮아져 광학반사도와 texture 값이 매우 높게 나타났다. 반면 혼재 퇴적상에서는 낮은 지형을 이루며 이에 의해 잔존해수의 영향에 의해 함수율이 높아 광학반사도가 낮게 나타났으며 조류로는 폭이 넓고 단순한 직선형으로 발달함을 알 수 있다. 지금까지 원격탐사 자료를 이용한 조간대 퇴적상 분류와 관련하여 조간대 texture를 고려한 연구는 수행된 바 없지만 최근 들어 수 m의 고해상도 영상을 얻기 시작하면서 조류로의 밀도나 형태에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다. 이와 같이 조간대 환경을 이해하고 원격탐사를 이용하여 퇴적상을 분류한다면 보다 높은 정밀도를 갖는 결과를 얻을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 김여상, 1989. 천수만의 현세 조간대층의 퇴적학적 연구. 한국지구과학회지, 10(1): 134-151.
- 우한준, 제종길, 2002. 강화 남부 갯벌의 퇴적환경 변화. Ocean and Polar Research 24(4):331-343.
- 유주형, 최종국, 나영호, 원중선, 2003. 곰소만 조간대 퇴적물의 Landsat ETM+ 자료 특성. 대한원격탐사학회지, 19(2):117-133.
- Bartholdy, J. and S. Folving, 1986. Sediment classification and surface type mapping in the Danish Wadden Sea by remote sensing, Neth. J. Sea Res., 20:337-345.
- Folk, R.L., 1968. A review of grain size parameters, Sedimentology, 6:73-93.
- Ryu, J-H., J-S. Won, and K.D. Min, 2002. Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flat: A case study in Gomso Bay, Korea, Remote Sensing Environment, 83(3), 442-456.
- Ryu J.H., Y.H. Na, J.S. Won, Doerffer R., 2003. A critical grain size for Landsat ETM+ investigations into intertidal sediments: A case study of the Gomso tidal flats, Korea, Estuarine, Coastal and Shelf Science (in press).
- Richard, A. D., 1985. Coastal sedimentary environments. Springer-Verlag, New York.