

시계열 Landsat 위성자료를 이용한 새만금 주변 해역의 부유퇴적물 농도 변화 모니터링

민지은^{1)*} · 유주형²⁾ · 안유환³⁾ · 이규성⁴⁾

1. 서 론

부유퇴적물질 (Suspended Sediment : 이하 SS)의 농도 값 및 분포 패턴은 해양의 환경, 특히 연안의 환경 변화를 모니터링 하는데 중요한 지표 역할을 한다. 따라서 연안 하구에서 담수의 유입에 따른 육지로부터의 부유사 퇴적현상 및 퇴적물의 이동 경로를 규명하는데 좋은 자료가 된다. 또한 해양 환경에서 수질 등급판정에 사용되어 각종 오염물의 이동 경로를 파악하고 연안 양식 및 어장 환경 파악에 도움을 줄 수 있는 유용한 정보이다 (한국해양연구원, 1999). 이러한 부유퇴적물질의 농도를 파악하는 위해서는 현장에서 채수를 통한 필터링 방법을 사용하거나, 현장에서 광학센서를 이용하여 관측하는 것이 일반적이다. 하지만 이러한 방법은 광대한 해역에 대한 부유퇴적물 농도 패턴을 파악하기에는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복할 수 있는 좋은 방법은 인공위성 자료를 활용하는 것이다. 기존의 해상 인공위성의 경우 해상도가 500 ~ 1000 m (SeaWiFS:1000 m, MODIS: 500 m) 정도로 높기 때문에 연안의 미세한 정보를 파악하기는 힘들다. 따라서 본 연구에서는 공간해상도가 높은 육상위성인 Landsat 영상을 이용하여 연안에서의 부유퇴적물 농도 변화 패턴을 파악하여 보았다.

2. 연구 지역

연구 지역은 남한의 서해 연안 중간 부분에 위치한 새만금 지역이다 (Fig. 1). 서해는 중국대륙 동해 연안과 우리나라 서해 연안으로 둘러싸여 있는 반 폐쇄적인 해역으로, 육지로부터 다량의 부유퇴적물을 공급하는 강과 하천이 많이 인접해 있는 해역이다. 또한 강한 조류가 발생하여 저층의 부유퇴적물들이 표층으로 재부유하는 매우 탁한 해역이다. 따라서 부유퇴적물의 공급원이 많고 다양하기 때문에, 시·공간적으로 부유물 농도 분포가 다양하게 나타난다 (Chio and Kwon, 1998). 새만금 지역은 총 길이 33 km에 달하는 대규모의 방조제의 건설을 1991년 11월 28일에 시작하여, 2003년 말에 4호 방조제가 완공되었고, 2006년 4월에는 모든 방조제 공사를 마쳐서 16년에 이르는 대규모 공사가 완료되었다 (새만금 해양환경연구센터 홈페이지). 따라서 이 대규모 공사가 진행됨에 따라 공사에 의한 부유퇴적물 농도와 분포가 방조제 안과 밖을 중심으로 다양하게 변화되어 왔다. 본 연구해역은 만경강과 동진강을 통해 많은 양의 담수가 유입되고 이 두 강의 하구에서는 담수와 함께 육상 기원 쇄설물을 포함한 토사들이 새만금 유역으로 다량 유입된다. 또한 북쪽에 위치한 금강을 통해서도 많은 양의 퇴적물들이 새만금 유역으로 유입되고 있다 (이상호 등, 2003). 방조제 건설이 완료되면서, 방조제가 연결된 고군산군도를 중심으로 3개의 구별된 특성을 갖는 해역으로 분류될 수 있다; 1) northwest, 2) southwest and 3) east (inner dyke).

주요어 : 부유퇴적물 (Suspended Sediment, SS), 새만금 연안해역, Landsat

1) 한국해양연구원 해양위성연구단 (jemin@kordi.re.kr), 인하대학교 지리정보공학과

2) 한국해양연구원 해양위성연구단 (jhryu@kordi.re.kr)

3) 한국해양연구원 해양위성연구단 (yhahn@kordi.re.kr)

4) 인하대학교 지리정보공학과 (kslee@inha.ac.kr)

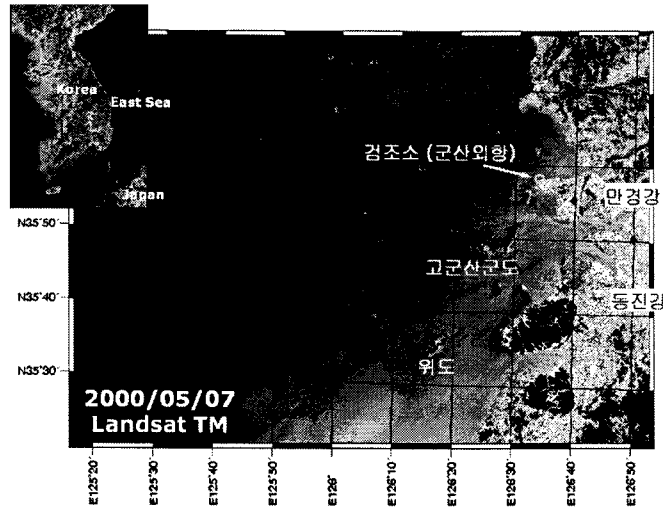


Fig 1. Study area : color composite image (Red-b3; Green-b2; Blue-b1) of Landsat5 TM (07-May-2000)

3. 연구 방법

1) 위성자료 및 영상처리

본 연구에서는 1985년부터 2006년까지 얻어진 20개의 Landsat TM/ETM+ 영상을 분석하여 새만금 주변 해역에서의 부유퇴적물 농도 분포 패턴을 알아보았다. 이 중에서 11개 영상은 썰물 (Ebb tide condition) 때에 얻어진 것이고 나머지 9개 영상은 밀물 (Flood tide condition) 때에 얻어진 것이다. 각 영상에서의 조석 정보는 국립해양조사원의 군산 외항 검조소 1시간 조위 관측 값을 사용하였다 (MDC 해양관측센터 홈페이지). 위성영상은 수치지도로 기하보정된 IRS (6 m resolution) 영상을 사용하여 image-to-image registration 방법으로 기하보정하였다. 각 영상별로 20개 정도의 GCP를 선택하여 RMS error가 0.5 pixel 이내가 되도록 보정을 실시하였다.

영상의 방사보정을 위해서 첫 번째로 아래의 수식 (1)을 이용하여 원시 자료 값 (digital numbers, DN)을 위성에서 얻어진 절대에너지 값 (radiance at the satellite level, L_{sat})으로 보정하여 주었다.

$$L_{sat} = G_{rescale} \times Q_{cal} + B_{rescale} \quad (1)$$

여기서, G와 B는 각 band 별 gain과 bias 변수 값이다. 두 번째 단계로, 위에서 얻어진 radiance 값으로 아래의 수식 (2)를 이용하여 reflectance로 변환하였다.

$$R = \frac{\pi(L_{sat} - L_{atm}) * D^2}{E_o * (COS((90 - \theta) * \pi / 180)) * \tau} \quad (2)$$

이 식은 Chavez (1996)에 의해 개발된 대기보정 방식인 COST model이며, 이 식에서 L_{atm} 은 대기에 의한 radiance이고, D 값은 규격화된 태양-지구 거리 (Normalized Earth-Sun distance)이고, E_o 는 태양의 irradiance 값이고, θ 는 태양의 천정각 (Solar zenith angle), τ 는 대기 투과도 (Atmospheric transmittance) 값을 나타낸다. 본 연구에서는 L_{atm} 을 구하기 위해서 Spectrum Shape Matching Method 방법을 사용하였다 (Ahn and Shanmugam).

2) 부유퇴적물 영상 제작

방사보정을 결과로 얻어진 reflectance 값을 π 로 나누어서 위성에서 얻어지는 단위 입체각 상의 반사도 값인 원격반사도 값 (Remote Sensing Reflectance, R_{rs})으로 변환하여 준 다음, 아래의 수식(3)을 이용하여 부유퇴적물 농도 영상을 제작하였다.

$$\langle SS \rangle [g/m^3] = 0.24 \cdot e^{188.3 \times R_{rs}(band2)} \quad (3)$$

이 알고리즘은 새만금 주변 해역에서의 2005년 3월과 2006년 9월 관측 값 70개를 이용하여 2006년 9월에 한국해양연구원 해양위성연구단에서 개발된 것이다 (한국해양연구원, 2006).

4. 결과 및 토론

Fig 2는 결과로 얻어진 SS 분포 분석 영상 중에서 2000년 11월 23일의 부유퇴적물 분포 영상과 영상 획득 시점의 조위 그래프를 나타낸다. 전체 부유퇴적물 농도분포는 0 ~ 60 g/m^3 을 나타냈다. 모든 영상을 분석하여 본 결과로 새만금 연안 해역에서는 부유퇴적물 농도 분포는 0 ~ 100 g/m^3 정도임을 알 수 있었다. 이는 밀물 때와 썰물 때에 큰 차이는 나타냈는데, Fig 2의 영상은 tide height 그래프에서 보듯이 밀물 중간 시기쯤에 얻어진 것으로서 부유퇴적물 농도가 중간 정도의 분포를 보이는 것을 알 수 있다. 또한 방조제와 고군산군도를 중심으로 연구해역을 북서 해역, 남서해역, 동쪽 해역 (방조제 내부 해역)으로 3개의 구역으로 나누어서 비교하여 보면, 북서 해역의 경우 방조제가 완전히 연결되어 내부 해역과 구별되면서 만경강, 동진강으로부터 유입에 의한 영향을 받지 않게 되기 때문에 부유퇴적물 농도가 매우 낮아지는 것을 알 수 있었다. 남서 해역의 경우 방조제는 완공되었지만 두 개의 갑문을 통하여 일정량의 반출량이 있기 때문에 만경강과 동진강의 유입과 방조제 내부의 조간대에서의 부유퇴적물들이 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 하지만 방조제가 있기 전에 비해서 그 영향의 양은 매우 줄어들었다. 반면에 변산 반도 아래해역에서의 조류에 의한 부유퇴적물의 유입량이 늘어났음을 확인 할 수 있었다. 동쪽 해역의 경우 방조제가 완공되면서 부유퇴적물의 양이 늘어나는 경향을 보였다.

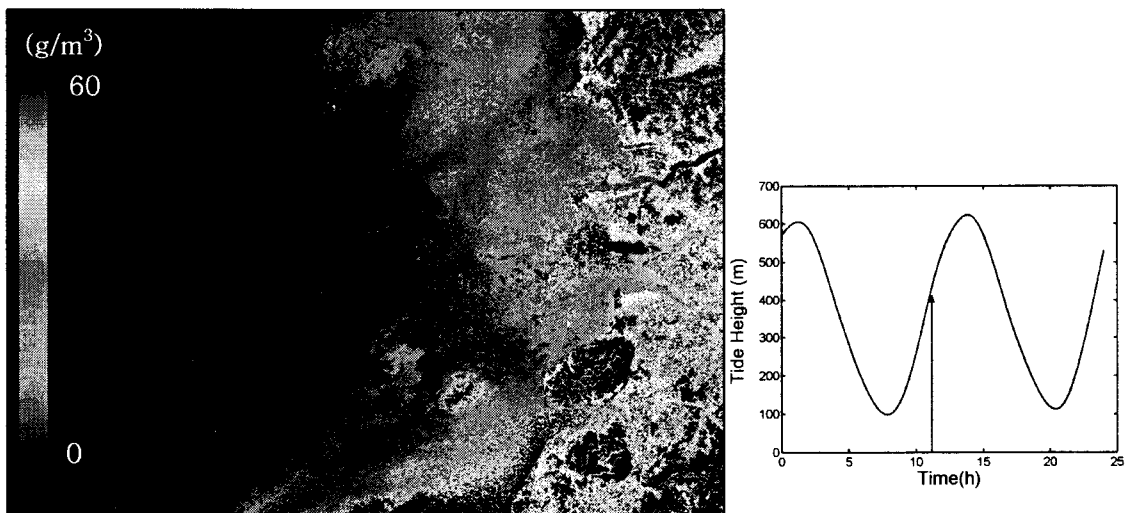


Fig 2. SS concentration distribution map and tide height graph at the scanning time of Landsat on 23 Nov. 2000

5. 참고 문헌

- 한국해양연구원, 1999. “위성에 의한 적조 및 해수 탁도 원격탐사 기술개발”, 한국해양연구원, 한국해양연구원 보고서.
- 한국해양연구원, 2006. “위성자료 공공활용연구 -해양분야 위성활용연구-”, 공공기술연구회, 한국해양연구원 보고서.
- 이상호, 최현용, 손영태, 권효근, 김영곤, 양재삼, 정해진, 김종구, 2003. “하계 서해안 새만금 연안역 주변 저염수와 순환”, 한국해양학회, vol.8, No. 2, pp. 138-150.
- Ahn Y. H. and P. Shanmugam, 2004. “New methods for correcting the atmospheric effects in Landsat imagery over Turbid (Cast-2) waters”, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, No. 5, pp. 289-305.
- Chio Y. K. and J. N. Kwon, 1998. “Seasonal variation of transparency in the southeastern Yellow sea”, *Journal of the Korean Fisheries Society*, vol. 31, pp. 323-329.
- MDC 해양관측센터 홈페이지
<http://mdc.nori.go.kr/>
- 한국해양연구원 새만금해양환경연구센터 홈페이지
<http://www.saemangeum.re.kr/>