

## 강화도 동검도 주변 조간대 내에 서식하는 염생식물의 분광특성 분석

이윤경\* · 엄진아\* · 유주형\*\* · 원중선\*†

\*연세대학교 지구시스템과학과, \*\*한국해양연구원

### Analyzing Spectral Characteristics of Salt Marsh Vegetation Around Donggumdo Tidal Flat in Ganghwado, Korea

Yoon-Kyung Lee\*, Jin-Ah Eom\*, Joo-Hyung Ryu\*\*, and Joong-Sun Won\*†

\*Department of Earth System Sciences, Yonsei University

\*\*Ocean Satellite Research Group, Korea Ocean Research & Development Institute

**Abstract :** Suaeda japonica is the one of halophyte species which is widely spread in the Ganghwado tidal flat. Halophyte affects to the vertical development of wetland by enhancing the adhesion force of sediments. If demineralization of tidal flat proceeds, the colony of halophyte moves to the seaside where has relatively high salinity content. The change of halophyte zonation can be an environmental indicator to understand the landization of tidal flat. To interpret the spectral characteristics of halophyte, we measured the reflectance of suaeda japonica, reed and sediment around Donggumdo tidal flat in Ganghwado. First and second-derivation analysis was applied to these transformed spectra in order to identify which spectral ranges were distinguished with different coastal wetland vegetation and artificial structures. From the result, red reflectance peak of suaeda japonica were appeared at 600-650nm and green reflectance peak of reed were appeared at 500-570nm. Spectra of sediments were continuously increased from 350-550nm without any absorption by chlorophyll. These reflectance were easily identified among the spectra of halophyte.

**Key Words :** halophyte, spectral characteristics, tidal flat, Ganghwado.

**요약 :** 칠면초는 서해안에서 쉽게 볼 수 있는 염생식물 중 하나이다. 이런 염생식물들은 유입되는 퇴적물의 고착능력을 향상시켜 해안 습지의 수직적인 발달에 영향을 준다. 또한 조간대의 탈염화가 지속적으로 진행이 되면 염생식물의 서식지는 염분이 상대적으로 높은 해안 쪽으로 나가게 된다. 이런 염생식물 서식지의 대상분포변화는 조간대의 육지화 현상을 이해할 수 있는 환경 요소가 된다. 본 연구에서는 이런 염생식물의 분광특성을 알아보기 위하여 현장조사를 통해 강화도 남단에 위치한 동검도 주변에서 염생식물인 칠면초와 갈대, 퇴적물의 반사도를 측정하였다. 이렇게 측정된 반사도에 미분을 하여 연안의 다른 식생이나 방조제 같은 인위적은 구조물과 구별이 되는 반사도 특징을 알아보았다. 그 결과 칠면초의 경우 600-650nm가 적색 반사도 피크영역이, 갈대의 경우 500-570nm가 녹색반사도 피크 영역이 존재함을 알 수 있었다. 퇴적물의 경우 클로로필에 의한 흡수대가 존재하지 않고 350-550nm까지 지속적으로 증가하고 그 스펙트럼이 칠면초나 갈대와 확연히 달라 쉽게 구별됨을 알 수 있었다.

2007년 12월 11일 접수 ; 2007년 12월 27일 수리.

† 교신저자: 원중선(jswon@yonsei.ac.kr)

## 1. 서론

염습지란 서식하는 동물과 식물이 주기적으로 조석과 염분의 영향을 받는 습지이며, 일반적으로 이 곳에 서식하는 식물은 세포액 속에 고농도의 염분을 포함하고 자라는 내염성이 강한 염생식물들로 구성되어 있다(이학곤, 2002). 염생식물들은 세립질 입자에 뿌리를 내려서 조류 흐름으로 인한 침식 활동을 억제하는 역할을 한다. 조간대의 육지화가 진행되면서 조간대 내의 염분 농도가 낮아지는 탈염화가 진행되면 염생식물의 서식지는 염분이 상대적으로 높은 해안 쪽으로 나가게 된다. 이런 염생식물 서식지의 대상분포변화는 조간대의 육지화 현상을 이해할 수 있는 환경 요소가 된다. 우리나라 서해안 조간대의 경우 칠면초, 갈대, 통통마디, 나문재 등의 염생식물들이 서식(홍재상, 2003)하고 있지만 위성영상을 활용한 염생식물의 특성에 대한 연구는 미비한 실정이다.

기존의 다중분광 위성영상을 활용한 염습지 내의 염생식물의 분석은 다중분광위성의 낮은 분광해상도와 적은 밴드의 수로 인하여 영상 내에서 염생식물의 특징적인 흡수와 반사 파장영역을 알아내는데 어려움이 있다고 알려져 왔다(Artigas and Yant, 2005). 이런 한계를 극복하기 위하여 최근에 항공기를 활용한 초다분광위성 영상을 활용한 연구(Cheng *et al.*, 2007; Maycira *et al.*, 2007)가 활발히 진행 중에 있다. 초다분광센서는 가시광선과 근적외선영역을 수 nm의 간격으로 수 백개의 밴드를 갖도록 물체의 반사도를 측정하는 것으로 측정되는 물체가 다른 물체와 구별되는 특징적인 분광특성(spectral fingerprints)을 쉽게 알아낼 수 있는 장점이 있다(Schmidt and Skidmore, 2001). 초다분광위성자료를 활용하기 전에 야외 스펙트로미터를 사용하여 현장실측을 통해 물체의 분광특성을 이해하는 것이 선행되는 것이 필수적이다(Meza and Blackburn, 2003). 이렇게 실측된 자료는 초다분광위성의 대기보정의 기초자료와 분류의 대조자료로 사용된다.

본 연구에서는 강화도 남단의 동검도 주변의 조간대에 널리 서식하는 염생식물 중 칠면초를 중심으로 미분법을 사용하여 분광학적 특징을 알아내고자 한다. 칠면초란 명아주과의 1년생풀로 우리나라 서해안 염습지의 대표적 선구종으로 전체적으로 높은 조간대가 형성된

곳이나 강하구에 가장 넓은 면적을 차지하며 무리 지어 자라며 붉은빛이 도는 자주색을 띤다(이학곤, 2002). 이 연구의 목표는 현장조사를 통해 획득된 분광자료를 이용하여 다른 식생과 구분되는 칠면초의 특징적인 파장을 선정하는 것이다. 이렇게 획득된 파장대는 초다분광위성을 사용하여 칠면초의 대상분포의 변화를 통해 강화도 조간대의 육지화 정도를 이해하는데 주요한 자료로 사용될 수 있을 것이다.

## 2. 연구지역 및 자료

강화도 주변의 조간대는 한강 수계와 예성강 하구에 위치하여 담수와 해수의 순환에 의해 하구로 운반된 퇴적물에 의해 형성되었다. 육지로부터 지속적으로 많은 양의 유기물과 영양염이 유입되고 있고 큰 조석간만의 차로 인하여 넓은 갯벌을 생성하여 많은 해양 동식물들에게 다양한 서식지와 은신처를 제공하고 있다(한국해양연구소, 1998, 환경부, 1991). 현재 이 지역은 영종도 신공항건설, 초지대교 건설 등의 지속적인 대규모 토목공사와 해안구조물 건설은 강화도 주변 조간대의 퇴적물 특성과 생태계의 지속적인 변화 등과 같은 문제를 발생시키는 것으로 생각된다.

연구의 관심 지역은 강화도 남동쪽에 위치하는 동검도 주변으로 강화도와 동검도를 연결하는 제방도로의 서쪽지역과 동검도의 남쪽지역이다(Fig. 1). 동검도 주변은 칠면초와 갈대와 같은 염생식물들이 대규모로 서식하고 있다. 특히 제방도로의 서쪽은 염생식물이 매우 크게 번성하지만 제방도로의 동쪽의 경우 염생식물과 같은 식생이 전혀 없다.

이 지역에서 염생식물의 반사도를 얻기 위하여 2006년 6월 1일에 현장관측을 실시하였다. 반사도 측정에 사용된 기기는 ASD사의 FieldSpec<sup>®</sup>3로 350nm~2500nm구간의 반사도를 측정하였다. 일반적으로 사용하는 스펙트로미터 측정기기의 경우 대상체의 광량(radiance)을 측정된 뒤, 측정된 광량을 반사도 패널의 광량로 나누어 반사도(reflectance)를 구한다. 그러나 FieldSpec<sup>®</sup>3의 경우 기기에서 자동적으로 광량을 반사도로 변환하여 값을 제공한다. 측정시간 동안 바람과 광량의 변화에 민감하게 반응하기 때문에 동일한 지점에 대

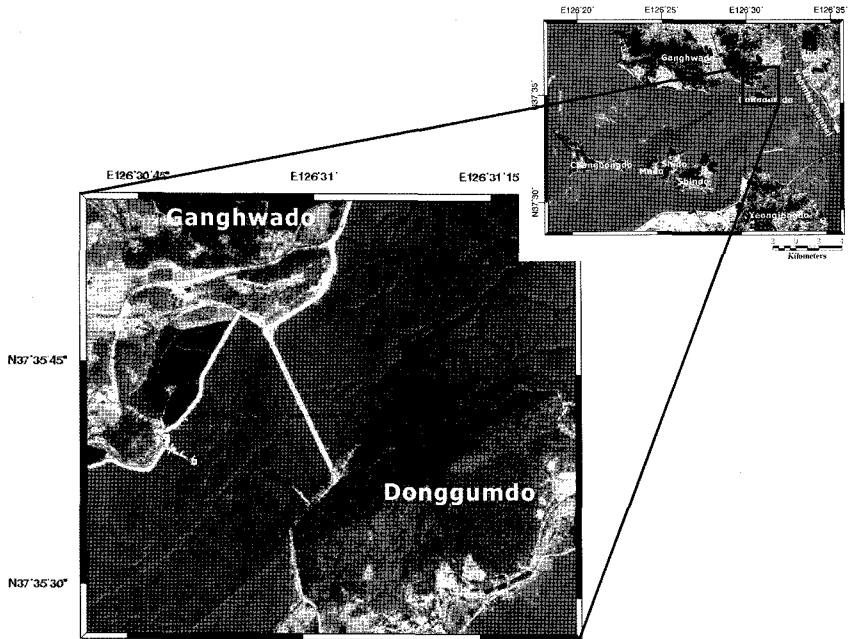


Fig. 1. The IKONOS image of study area acquired at Mar. 28, 2001.

하여 3번씩 측정한 뒤 획득된 세 개의 반사도 커브 중 중간에 위치하는 반사도 커브를 선정하였다. 본 연구의 경우 노이즈가 있는 부분을 제거한 뒤 가시광선과 근적외선에 해당되는 350nm~900nm 만을 분석에 사용하였다.

### 3. 연구방법

대상체의 특성을 파악하기 위하여 반사도를 미분하였다. 미분법은 대상체의 신호에 영향을 주는 배경신호를 제거하고, 수중의 클로로필 조사의 경우 탁도의 영향을 줄이는 효과가 있다(Brian, 2005). 미분을 통해 획득된 도함수를 통하여 작은 흡수대의 위치와 흡수 강도, 흡수대의 차이를 알 수 있다.

$$d^{1st} = \frac{\rho(n_{i+1}) - \rho(n_i)}{(\lambda_{n+1}) - (\lambda_n)} \quad (1)$$

이차미분의 경우 반사도의 차이를 향상시키기 위하여 분모에 0.5를 곱하여 구하였다.

$$d^{2nd} = \frac{d^{1st}(n_{i+1}) - d^{1st}(n_i)}{0.5 \times (\lambda_{n+1}) - (\lambda_n)} \quad (2)$$

## 4. 연구결과

### 1) 염생식물과 퇴적물의 반사도

강화도 동검도 일대에서 획득한 염생식물은 칠면초 (*Suaeda japonica*)와 갈대(reed)로 반사도는 Fig. 2와 같다. 갈대의 경우 녹색영역에서 녹색반사도 피크가 나타난다. 이 피크 이후에 반사도는 점차 작아지다가 클로로필의 670~690nm에서 흡수와 700nm이상에서의 급격한 반사도 증가로 인한 레드엣지(red edge)를 볼 수 있다. 칠면초의 경우 청색영역과 녹색 영역에서 반사도는 완만하게 증가한다. 적색영역에서 상대적으로 반사도가 크게 증가했다가 클로로필에 의한 670~690nm영역의 흡수가 나타나고 레드엣지도 뚜렷이 볼 수 있다. 갈대와 칠면초에서 공통적으로 765nm 근처에서 산소에 의한 좁은 흡수영역이 나타났다.

퇴적물의 경우 350~550nm까지 반사도가 증가하는 전형적인 사질퇴적물의 반사도를 갖는다. 또한 670~690nm의 전형적인 클로로필 흡수대가 없는 것으로 보아 자료가 획득된 지점이 거의 순수한 사질 퇴적물로 구성되어 있음을 알 수 있다.

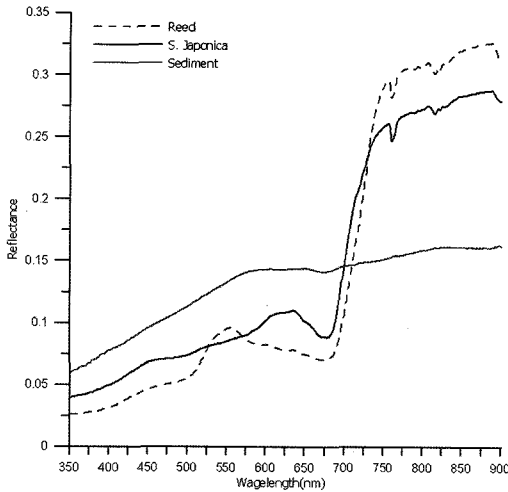


Fig. 2. Comparison of reflectance curves of reed, Suaeda japonica and sediment.

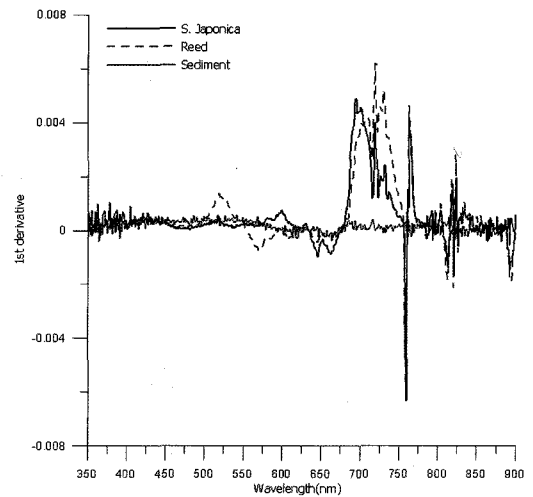


Fig. 3. Comparison of first derivative curves of reed, Suaeda japonica and sediment.

## 2) 염생식물과 퇴적물 반사도의 일차미분

Gao and Zhang(2006)는 일차미분을 하여 얻은 도함수를 사용하여 chongming island에 서식하는 염생식물 중의 반사도 특성을 분석한 결과 계절적인 변화가 식생의 생장을 잘 반영하고 있으며 위성영상을 이용하여 염생식물을 분류하기에는 레드엣지와 녹색피크가 큰 값을 가지고 분류 능력이 상대적으로 커지는 가을에 획득한 영상이 염생식물 중의 분류에 최적임을 밝힌바 있다.

강화도 동검도 일대에서 획득된 반사도를 일차미분하여 획득된 도함수는 Fig. 3과 같다. 퇴적물의 경우 반사도가 전체적으로는 지속적인 증가 형태를 보이며 도

함수가 거의 0에 가까운 값을 나타낸다. 갈대의 경우 500~570nm에서 녹색식물에서 나타나는 녹색반사도 피크가 선명히 나타나고 700nm부근에서 레드엣지를 볼 수 있다. 레드엣지에서 반사도가 급격히 증가만 하는 것이 아니라 물에 의해 720nm 흡수가 일어나고 반사도 증가율이 변하는 것을 볼 수 있다. 760nm에서 산소로 인한 폭이 좁고 깊은 흡수대가 있다. 820~830nm에서 물의 흡수로 인한 트리플렛(triplet)을 볼 수 있다(Fig. 4(a)).

칠면초의 경우 600~650nm에서 적색 반사도 피크가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이 피크 이후에 바로 클로로

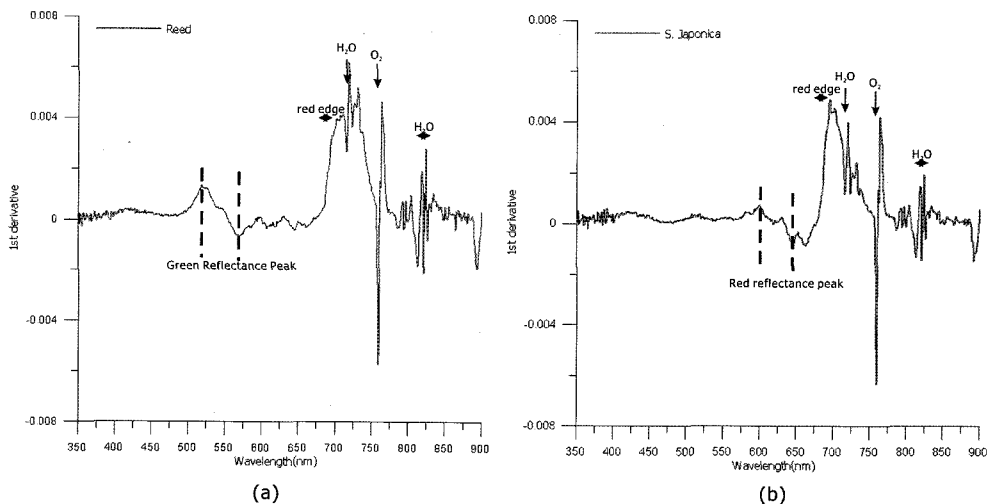


Fig. 4. Absorption and reflectance spectral features of reed and Suaeda japonica.

필에 의한 흡수와 반사로 인한 레드엣지가 700nm 부근에서 일어난다. 갈대와 같이 레드엣지 이후에 720nm에서 물에 의한 흡수가 일어나고 반사도 증가율이 변하는 것을 알 수 있다. 또한 760nm에서 산소로 인한 폭이 좁고 깊은 흡수대와 820~830nm에서 물의 흡수로 인한 트리플렛을 볼 수 있다. 720nm의 물의 흡수대를 중심으로 갈대의 경우 오른쪽의 긴 파장 쪽에, 칠면초의 경우 왼쪽의 짧은 파장 쪽에서 최대의 도함수 값을 가지는 것을 볼 수 있다(Fig. 4(b)).

### 3) 염생식물과 퇴적물 반사도의 이차미분

이차 미분의 도함수는 반사도 커브의 경사도가 상대적으로 급하게 변하는 분광 위치 식별하는데 유용하다. 0에 가까운 값은 지속적으로 완만하게 증가하거나 감소하는 구간이거나, 반사나 흡수가 매우 약한 구간이다. 양의 값은 트리플렛과 같은 오목하게 나타나는 흡수 특징을, 음의 값은 지역적인 반사도 피크와 관련하여 볼록한 모양으로 나타나는 반사도 특징을 나타낸다(Becker et al., 2005).

본 연구에서 획득한 갈대와 칠면초의 이차 미분의 도함수는 Fig. 5와 같이 물과 산소에 의한 흡수대와 레드엣지만이 나타나고 녹색 반사도 피크와 적색 반사도 피크는 0에 가까운 값으로 나오는 것을 볼 수 있다. 이는 피크가 물과 산소의 흡수대와 비교시 상당히 넓은 파장 대역에 걸쳐 완만하게 증가하기 때문인 것으로 생각된다.

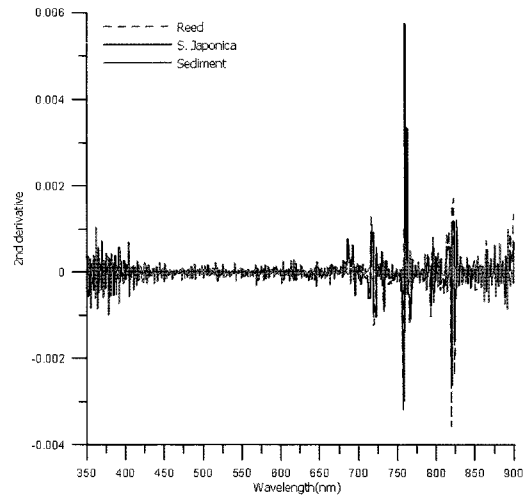


Fig. 5. Comparison of second derivative curves of reed, Suaeda japonica and sediment.

다. 퇴적물의 경우  $-0.001 \sim +0.001$  사이에서 거의 0에 가까운 값을 가지며 특별한 흡수와 반사대가 나타나지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 퇴적물이 350~900nm 영역에서 뚜렷한 흡수 없이 지속적으로 반사도가 증가하기 때문이다.

### 4) 시간의 변화에 따른 칠면초의 반사도 변화

시간의 변화에 따른 칠면초의 반사도 변화를 보기 위해 선착장에서 약 7m 떨어진 동일한 칠면초 군락에 대하여 45의 각도로 2006년 6월 1일 오전 11시

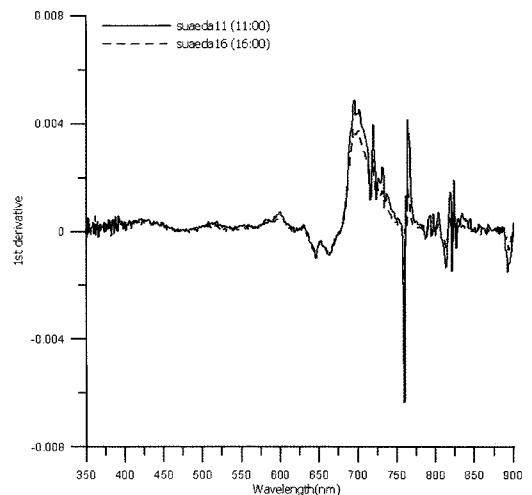
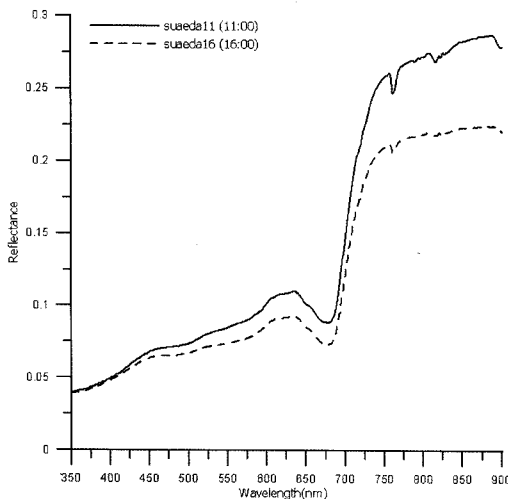


Fig. 6. a) Comparison of reflectance curves of suaeda japonica within a day, b) comparison of first derivative curves of Suaeda japonica.

(suaeda11)와 오후 4(suaeda16)시경에 스펙트럼을 측정하였다. 조위는 11시는 531cm, 16시는 323cm로 동일한 지역에 대하여 약 208cm로 조차를 가진다.

오전에 획득한 suaeda11과 오후에 획득한 suaeda16의 반사도와 도함수를 비교한 것은 Fig. 6과 같다. 반사도강도가 시간이 지남에 따라 점차 작아지는 것을 볼 수 있다. 특히 근적외선 영역은 최대 8% 반사도가 낮아지는 것을 볼 수 있다(Fig. 6(a)). 또한 760nm에서 산소에 의한 흡수와, 820~830nm에서 물에 의한 흡수가 상대적으로 작아지는 것을 볼 수 있다(Fig. 6(b)). 시간이 지남에 따라 흡수강도가 작아지긴 하지만 칠면초의 특징적인 반사도 형태를 뚜렷이 관측할 수 있다.

### 5. 토의 및 결론

본 연구에서는 강화도 동검도 일대의 조간대에서 서식하는 염생식물의 분광학적 특징을 알기 위하여 미분법을 사용하여 분석을 실시하였다. 미분 한 결과 반사도에서 확인하기 힘들었던 산소와 물에 의한 작은 흡수대의 위치와 강도를 쉽게 알 수 있었다. 특히 반사도에서는 확인하기 힘들었던 반사도 피크의 영역이 미분 후에 쉽게 구별될 수 있었다. 갈대의 경우 500~570nm가 녹색반사도 피크 영역임을, 칠면초의 경우 600~650nm가 적색반사도 피크 영역임을 알 수 있었다. 갈대와 칠면초 모두 클로로필에 의하여 670~690nm에서 흡수가 일어났다가 700nm이상에서 급격한 반사를 하여 레드엣지가 나타났다. 또한 이 영역에서 반사만 하는 것이 아니라 720nm에서는 물에 의한 흡수가, 760nm에서는 산소로 인한 흡수가, 820~830nm에서는 물의 흡수로 인한 트리플렛이 나타났다. 따라서 위성영상을 사용하여 칠면초와 갈대를 구분하기 위해서는 녹색영역과 적색영역의 차이를 이용해야 할 것으로 생각된다. 퇴적물의 경우 클로로필에 의한 흡수대가 존재하지 않고 350~550nm까지 지속적으로 증가하고 그 최대 반사도 값이 칠면초와 갈대의 최대 반사도 값보다 훨씬 낮고 스펙트럼의 모양이 틀려 위성영상을 사용할 경우 염생식물과 쉽게 구분이 될 것으로 예상된다.

이렇게 야외스펙트로미터를 사용하여 칠면초, 갈대, 퇴적물의 반사도 특징을 위성영상의 분석에 적용할 수

있다. 하지만 염생식물이 퇴적물 위에 분포하기 때문에 위성영상에 퇴적물의 반사도와 염생식물의 반사도가 섞이게 된다. 따라서 위성영상의 반사도로부터 퇴적물과 염생식물의 반사도를 구별하기 위해서는 분광해상도가 좋은 영상을 활용하여야 한다. 추후 다분광위성영상에 spectral unmixing기법을 적용하여 염생식물이 감지되는지 확인하고 그렇지 않을 경우 초다분광영상을 적용할 예정이다. 또한 염생식물의 계절에 따른 반사도를 실측하여 분석한 뒤 위성영상에 적용한다면 계절과 생장에 따른 염생식물의 분포변화를 알 수 있을 것으로 기대된다.

### 사 사

본 연구는 해양연구원의 하구역 관리 및 기능회복 기술 개발사업(PE97701)과 해양분야위성활용연구(PG45300)의 지원으로 수행되었다.

### 참고문헌

이학곤, 2002. 갯벌환경과 생물, 아카데미서적, 190-202.

한국해양연구원, 1998. 갯벌의 효율적인 이용과 보존을 위한 연구(2차년도 연차보고서).

환경부, 1991. 자연생태계 지역조사 [서해안 간석지(강화도 남단)조사]

홍재상, 2003. 한국의 갯벌, 대원사, 81-84.

Artigas R. J. and Yang J. S., 2005. Hyperspectral remote sensing of marsh species and plant vigour gradient in the New Jersey Meadowlands, *International Journal of Remote Sensing*, 26(23), 5209-5220.

Brian L. Becker, David P. Lusch, and Jiagua Qi, 2005. Identifying optimal spectral bands from in situ measurement of great lakes coastal wetlands using second-derivative analysis, *Remote sensing of environment*, 97, 238-348.

Cheng Wang, Massimo Menenti, Marc-Philippe

- Stoll, Enrica Stoll, Enrica Belluco, and Marco Marani, 2007. Mapping mixed vegetation communities in salt marshes using using airborne spectral data, *Remote Sensing of Environment*, 107, 559-570.
- Gao, Z. G. and Zhang, L. Q., 2006. Multi-seasonal spectral characteristics analysis of coastal salt marsh vegetation in Shanghai, China, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 69, 217-224.
- Maycira Costa, Eduardo Araujo Loos, Alexandra Shaw, Carrie Steckler, and Philip Hill, 2007. Hyperspectral imagery for mapping intertidal vegetation at Roberts bank tidal flats, British Columbia, Canada, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 33 (2), 130-141.
- Meza Diaz B. and Blackburn G. A., 2003. Remote sensing of mangrove biophysical properties: evidence from a laboratory simulation of the possible effects of background variation on spectral vegetation indices, *International Journal of Remote Sensing*, 24 (1), 53-73.
- Schmidt, K. S. and Skidmore, A. K., 2001. Exploring spectral discrimination of grass species in African rangelands, *International Journal of Remote Sensing*, 14, 1159-1177.