



Original Article

해양공간계획 적용을 위한 원격탐사 기반 갯벌 염생식물 분류 및 생태특성 분석

장민철^{1,2,†} · 최윤수³ · 노준성⁴ · 김성학⁵

¹서울시립대학교 공간정보공학과 박사

²해양수산부 해양생태과 주무관

³서울시립대학교 공간정보공학과 교수

⁴서울대학교 지구환경과학부 박사과정

⁵주지오스토리 차장

Study on Classification and Ecological Characteristics of Halophyte in Tidal Flat Using Remote Sensing Technique: Application to Marine Spatial Planning

Minchol Chang^{1,2,†}, Yun Soo Choi³, Junsung Noh⁴, and Sunghak Kim⁵

¹Ph. D, Department of Geoinformatics, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

²Action officer, Marine Ecology Division, Ministry of Oceans and Fisheries, Sejong 30110, Korea

³Professor, Department of Geoinformatics, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

⁴Ph.D student, School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

⁵Deputy General Manager, Geostory, Seoul 07566, Korea

요 약

원격탐사 기술을 이용하여 갯벌에 서식하는 염생식물을 분류하고 생태적 특성을 연구하였다. 2012년 6월, 2016년 11월, 2017년 9월에 강화도 동막리 갯벌에서 방형구를 이용한 염생식물 현장조사를 실시하고, 동 시기에 취득한 인공위성 영상(Sentinel-2A)과 항공촬영 초분광영상(CASI-1500)을 비교하였다. 초분광영상은 2012년과 2016년, 위성영상은 2017년에 각각 획득하였다. 염생식물 7종에 대해 위성영상의 분류 정확도는 평균 50.3%, 초분광영상은 평균 84%의 정확도를 보였다. 분류기법의 정확도는 위성영상의 경우 MDC (Mahalanobis Distance Classification) 기법이 64.5%로 가장 높았고, 초분광영상의 경우 SAM (Spectral Angle Mapper) 기법이 91.9%로 가장 우수한 분류기법으로 나타났다. SAM 기법을 적용하여 염생식물 분포를 추출한 결과 2012년과 2016년의 염생식물 3종의 분포면적이 4,158 m²에서 66,351 m²로 증가하였다. 인천해수면 기준의 DEM (Digital Elevation Model)을 이용하여 강화도에 서식하는 염생식물 7종(갈대, 갯잔디, 쯤보리사초, 지체, 천일사초, 칠면초, 해홍나물)의 서식범위(표고, 경사도)를 비교한 결과 쯤보리사초가 가장 높은 표고에 서식하고, 갯잔디가 가장 경사도가 높았으며 나머지 5종의 서식범위는 대체로 겹치는 것으로 나타났다. 염생식물이 서식하는 퇴적상을 분석한 결과 쯤보리사초는 사질에 분포하며 나머지 6종은 니질에 주로 서식하였다. 염생식물 7종이 서식하는 환경에서 일일 최대유속 평균값의 차이는 종별로 유의하지 않아(p=0.99) 유속과 염생식물 종의 분포는 관계가 없는 것으로 나타났다. 본 연구는 초분광영상을 활용한 염생식물의 서식지 매핑 가능성을 보여주며, 접근하기 힘든 해양공간에서 정보를 수집하는데 용이하고 정확도를 향상시키는데 도움이 된다. 해양공간정보는 갯벌생태계 복원, 블루카본 서식지 관리, 바다숲 조성 등 다양한 해양공간 관리에 활용될 수 있다.

Abstract – This study aims to identify halophyte species and understand ecological characteristics of marsh plants in tidal flat using remote sensing technique. In June 2012, Nov. 2016, and Sep. 2017, satellite (Sentinel-2A) and hyper spectral (CASI-1500) images were taken and ground truth data were obtained at the same date in both years. Accuracy of classification averaged 50.3% for the satellite image and 84% for the hyperspectral image. Mahalanobis distance classification showed the highest accuracy for the satellite image and SAM (spectral angle mapper)

†Corresponding author: chamic@uos.ac.kr

presented the highest accuracy for the hyperspectral image. Using SAM to extract halophyte distribution from the hyperspectral image, the size of halophyte distribution increased from 4,158 m² to 66,351 m² from 2012 to 2016. Seven species of halophyte were compared in terms of elevation and inclination angle in habitats. The highest elevation was shown in *Carex pumila* that prefers sandy habitat and the most inclined angle was presented in *Zoysia sinica* that prefers muddy habitat. Daily maximum current speed of seven species were not significantly different ($p=0.99$), showing that current speed and halophyte distribution were not related. This study implied the applicability of hyperspectral image to accurate habitat mapping of halophyte in salt marsh especially in the case that field access was hard to do. Marine space data can be widely used for marine spatial planning such as tidal flat restoration, habitat management of blue carbon and submersible aquatic vegetation.

Keywords: Remote sensing(원격탐사), Hyperspectral(초분광영상), Habitat mapping(서식지매핑), Marine spatial planning(해양공간계획), Halophyte(염생식물), Blue carbon(블루카본)

1. 서 론

최근 지구온난화 문제를 해결하기 위한 방법으로 해양생태계의 탄소흡수원인 블루카본(blue carbon)에 대한 관심이 높아지고 있다(Howard *et al.*[2017]). 블루카본이란 맹그로브(mangrove), 염생식물(halophyte), 갈피(seagrass) 등 연안에 서식하는 식물이 탄소순환과 퇴적작용을 통해 대기 중 탄소를 지하로 묻어 대기와 격리시킨 탄소를 일컫는다. 블루카본 생태계는 대기로부터 흡수한 이산화탄소를 토양 위쪽(above ground)에 위치하는 식물의 줄기, 가지, 잎과 토양 아래쪽(below ground)에 위치하는 뿌리, 퇴적물에 탄소를 저장한다. 또한, 블루카본 생태계는 폭풍 해일과 해수면 상승에 대한 보호, 수질 조절 및 해안선 침식 방지와 같은 수많은 혜택을 제공할 뿐만 아니라 상업적 가치가 큰 어종과 멸종 위기에 처한 해양생물의 산란지와 서식지 역할을 하며, 수산물의 공급원 등 다양한 생태계 서비스를 제공한다(Crooks *et al.*[2017]). 블루카본의 세 가지 유형으로는 염습지(tidal marsh), 갈피밭(seagrass beds), 맹그로브숲(mangrove forest)을 들 수 있으며, 이 중 염습지는 갯벌 상부 조건대에 주기적인 조석에 의해 해수의 영향을 받으며 염분에 잘 견디는 식생이 형성된 곳이다(Shim *et al.*[2002]). 갯벌은 육상과 해양으로부터 공급되는 무기 및 유기영양염류가 풍부하여 여러 유형의 생태계 중 생산성이 가장 높은 것이 특징이다(Barbier *et al.*[2011]; Costanza *et al.*[1997]). 우리나라 갯벌은 세계 5대 갯벌이나 서남해안은 장기간에 수행된 간척사업들로 인해 갯벌이 점차 사라지고 있으며, 최근 생태적 중요성과 높은 해양생태계서비스 가치로 갯벌 복원이 주목받고 있다.

염생식물은 염분농도가 높은 해안의 염습지에서 생장 가능한 식물로 체내 염분을 제거하는 분비선이 있거나 세포내의 높은 삼투압을 유지하는 생리적 기능을 가지고 있다(Kong[2014]; Noe and Zedler[2001]). 염생식물 군락은 높은 일차생산력을 보임과 동시에 다양한 생물의 서식처, 그리고 각종 오염물질의 정화 등 중요한 역할을 수행한다(Craft *et al.*[2009]). 염생식물은 군락을 형성하면서 성장하고 염생식물 종에 따라 생육의 특징에 적합한 입지조건에서 자생한다(Lee[2003]). 우리나라에 분포하는 염생식물은 2013년 기준 94종으로 기록되었으며, 이 중 사구에는 33종, 염습지에는 29종에 분포되어 있다(BRRD[2013]). 특히 염생식물은 염습지의 건강성을

나타내는 지표로 이용될 수 있어 분포양상과 면적에 대한 현황과 약과 지속적인 모니터링이 시급하다(Hong *et al.*[2015]).

우리나라에서는 1970년대부터 염생식물에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 왔는데 대부분 현장조사에 기반한 식생분포(Ihm[1987]; Kim[1971]; Oh and Roh[2013]), 생산성(Oh and Ihm[1983]), 물질순환과 생육환경(Lee *et al.*[2009]; Min[1985]) 등 생태학적 연구에 집중되어 있다. 그 이후 염생식물을 활용하는 공학적(Park and Lee[2018]), 생명공학적(Baek *et al.*[2015]; Jeong *et al.*[2017]; Kim *et al.*[2009]) 연구가 주로 진행되다가, 최근 블루카본 개념의 등장으로 전국 규모의 서식지 매핑이 필요하게 되었고, 해양수산부에서는 2017년부터 블루카본 연구개발사업을 수행 중이다. 그러나, 우리나라의 넓은 갯벌을 대상으로 염생식물의 서식지 분포를 전수조사하는 것은 매우 어렵다. 특히 염생식물이 주로 자라는 상부조건대는 세립한 니질이 우세하여 접근하기가 매우 어려워 갯벌에 들어가서 육안으로 서식지의 갯벌 바깥쪽 경계를 제대로 파악하는 것은 매우 어렵다. 또한 염습지를 구성하는 다양한 염생식물 들은 각기 다른 탄소 흡수 능력을 보이기 때문에 블루카본의 자원량을 올바르게 산출하기 위해서는 염생식물의 종을 구분할 수 있는 서식지 매핑이 반드시 필요하다.

이를 극복할 수 있는 대안인 원격탐사는 다양한 센서를 이용하여 갯벌에 들어가지 않고 서식지 맵핑을 할 수 있는 기술로 인간의 접근이 용이하지 않은 지역과 광범위한 지역의 조사를 효율적으로 수행할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 현장조사가 점 중심의 정점 조사에 비해 원격탐사는 단시간 내에 공간적으로 연속적인 자료를 취득할 수 있어 아주 넓은 지역이라도 정확하고 세밀한 서식지 정보를 획득할 수 있다.

따라서 본 연구는 원격탐사를 이용하여 얻은 조건대의 해양공간 정보를 이용하여 염생식물 종별 서식지를 정확하게 매핑할 수 있는지를 타진해 보고자 한다. 이를 위한 세부 연구목표는 크게 3가지로 나눌 수 있다. 첫째, 위성영상과 초분광영상을 대상으로 다양한 영상분류 방법을 적용하여 염생식물 종 분류 가능성을 비교분석하고 적절한 영상분류 방법과 해상도를 제안하고자 한다. 둘째, 선택된 두 시기의 초분광영상 자료를 이용하여 염생식물의 분포 변화를 나타내 보고자 한다. 셋째, 국가에서 국민들에게 제공하는 해양공간정보를 이용하여 염생식물의 분포와 환경요인의 관계를 분

석하였다. 이를 통하여 본 연구가 우리나라 갯벌의 효율적인 관리에 기여할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 위성영상

본 연구에서 사용한 위성영상은 오픈데이터 중 해상도가 높은 Sentinel-2A 위성영상을 사용했다. 공간해상도 10 m의 영상을 활용하기 위하여, Blue 밴드, Green 밴드, Red 밴드, NIR 밴드로 사용하였다. 방사보정과 기하보정이 된 level-1C 자료를 사용했으며 Table 1은 Sentinel-2A 영상의 제원을 나타낸다.

2.2 초분광영상

항공 초분광 센서는 캐나다 ITRES사의 CASI-1500 모델을 사용했고, 이 장비는 380 nm~1,050 nm의 분광해상도를 가지고 있으며, 최대 288개의 분광밴드를 취득할 수 있다(Table 2). 또한, CASI-1500 초분광센서는 푸쉬브room 스캐너(Pushbroom scanner)의 라인 촬영방식으로써 횡방향의 고정된 라인으로 촬영 대상지역을 쓸어가듯이 영상을 취득하고, 기하정확도 및 방사해상도가 우수하며, 분광해상도 및 공간해상도를 유연하게 조절할 수 있는 장점이 있다.

염생식물의 분류 및 분포 특성 파악을 수행하기 위해서는 초분

광영상의 좌표 등록과 분광정보의 일치를 위한 기하보정과 복사보정을 선행해야 한다. 또한, 초분광센서 CASI-1500으로 촬영한 원시데이터(Raw data)로부터 자료 분석을 위한 정사보정된 모자이크 영상을 얻기 위해서는 몇 단계의 전처리 과정이 필요하다. 데이터 처리 과정은 Fig. 1과 같이 크게 나누어 방사보정(Radiometric Correction), GPS/INS 데이터 동기화(Navigation Data Synchronization), 기하보정(Geometric Correction)의 3단계로 나누어지며, 선택적으로 대기보정(Atmospheric Correction)을 포함하고 있다.

2.3 국가해양생태계 종합조사 자료

국가해양생태계 종합조사 자료 중 갯벌생태조사 자료를 사용하였다(http://www.ecosea.go.kr, MOF[2015]). 사용한 갯벌생태조사 자료는 갯벌조사와 염생식물 조사가 동일 위치에서 이루어진 지점을 대상으로 하였고, 지역적 범위는 경기·인천지역을 대상으로 하였다. 갯벌조사 자료에서는 퇴적상 정보를 취득할 수 있었고, 염생식물 조사 자료에서는 분포하는 염생식물의 종 정보를 취득할 수 있었다. 염생식물을 대상으로 그 분포특성을 파악하기 위하여 7개 지역(강화 동검도, 강화 동막리, 강화 장화리, 무의도 하나개 인천 고잔동, 선재도, 화성 제부도)을 대상으로 국가해양생태계 종합조사 자료를 이용하였다.

2.4 원격탐사 기반 염생식물 분류 방법

본 연구에서는 일반적으로 사용되고 있는 감독분류 알고리즘 중 대표적인 알고리즘 5가지를 적용함으로써 염생식물 분류에 적합한 알고리즘을 파악하고자 하였다. 사용한 감독분류 알고리즘은 Parallelepiped, SAM (Spectral Angle Mapper, Jensen[2006]), Minimum Distance (Pandya *et al.*[2013]), Mahalanobis Distance, SID (Spectral Information Divergence, Van der Meer[2006]; Zhang *et al.*[2014])이다.

염생식물 현장조사는 기 촬영된 항공 초분광영상 자료와 위성영상의 염생식물 분류 결과의 정확도 검증에 하기 위해 실시되었다. 염생식물 군락을 조사하고 식생도를 작성하여 기초적인 염생식물 데이터를 구축하고 항공멀티센서를 이용해 얻은 초분광영상 자료와 비교 분석하였다. 갯벌, 바위, 해안사구 등 연구지역에 출현하는 식물을 채집하고 동정하여 출현종 리스트를 작성하였으며 이들을 염생식물과 중생식물로 나누어 종수를 파악하고 과별로 분리하였다. 식물 종의 동정에는 대한식물도감(Lee[1999]), 한국식물도감

Table 1. Specification of Sentinel-2A video

Band Number	Spatial Resolution (m)	Central Wavelength (nm)	Bandwidth (nm)
MS1	60	443	20
MS2	10	490	65
MS3	10	560	35
MS4	10	665	30
VNIR	MS5	705	15
	MS6	740	15
	MS7	783	20
	MS8	842	115
	MS8a	865	20
	MS9	945	20
SWIR	MS10	1375	30
	MS11	1610	90
	MS12	2190	180

Table 2. Specification of CASI-1500

Instrument	Specification	Detail
	Spectral range	380 - 1,050 nm
	Spectral channel	36 - 288 band
	Spectral resolution	2.4 - 9.6 nm
	Radiation fraction	14-bit (16,384:1)
	Pixel number	1,500 pix
	Pixel size	20 × 20 micron
	Viewing angle	40°
	Data storage speed	10.9 Mpix/sec

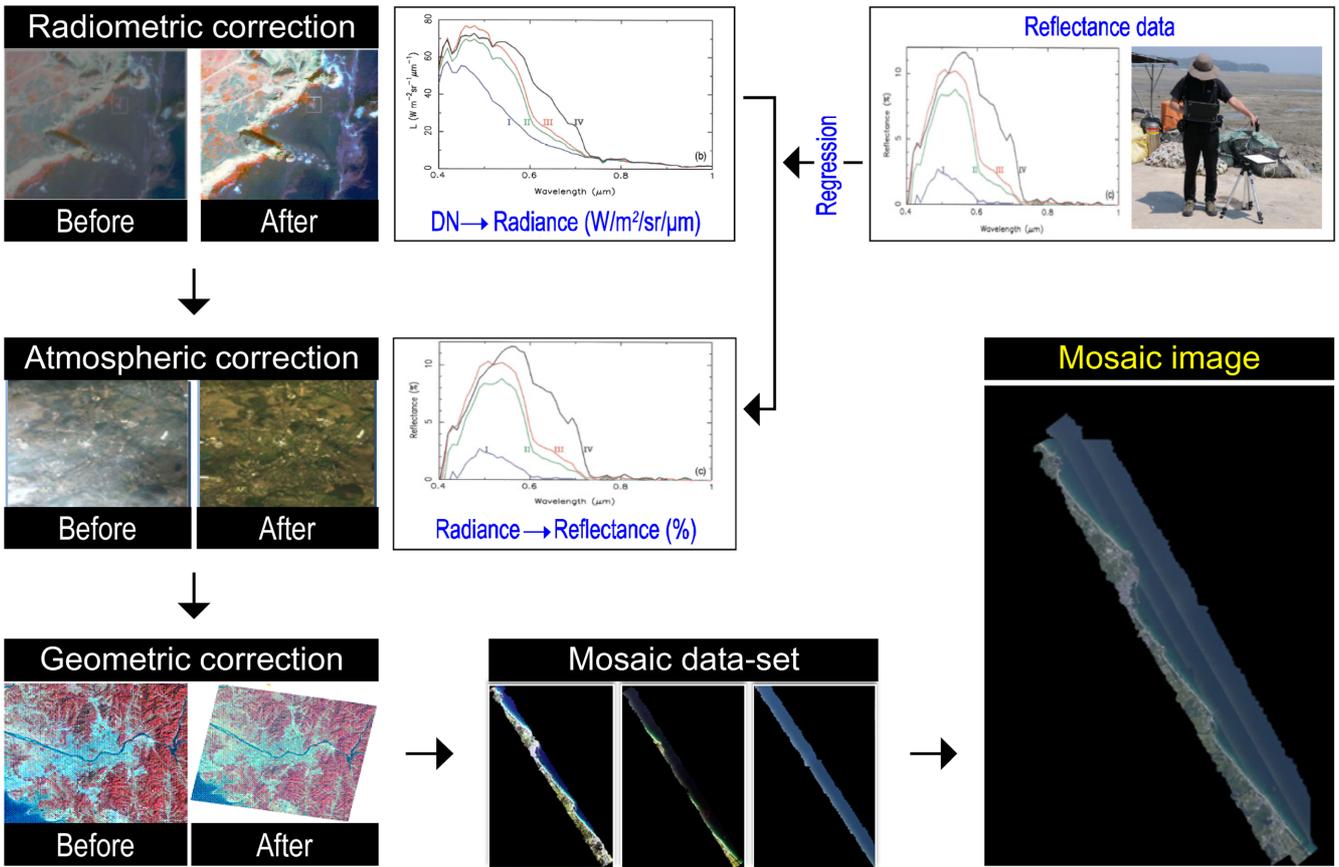


Fig. 1. Schematic flow showing the pretreatment process of hyperspectral images.

(Lee[1996]), 수생식물도감(Park and Lee[2009])을 참고하였다. 개별식물의 종명은 국가표준식물목록 홈페이지(<http://www.nature.go.kr>)와 최근 발표된 식물명은 한국식물분류학회를 참고하여 작성하였다. 조사지점에서 출현한 염생식물 군락은 방형구법(quadrat method), 식물사회학적 방법(Braun-Branquet[1964])을 병행하여 조사하였다. 식생이 양호한 지점에 방형구를 설치하여 출현종, 전체피도, 출현종별 피도를 기록하였다. 지점당 0.5×0.5 m 크기 방형구를 8회 측정하여 측정면적이 2×2 m가 되도록 하였다.

분류 및 분류결과의 정확도를 획득하기 위해 항공 초분광영상에서 갈대(*Phragmites communis*), 갯끈풀(*Spartina alterniflora*), 칠면초(*Suaeda japonica*)에 대한 훈련 자료 및 검증 자료를 취득했다. 칠면초는 8~9월이 개화시기이기 때문에 2012년 6월 자료에서는 칠면초의 생장시기 전 이므로 자료를 취득할 수 없었으며, 갯끈풀은 52개 포인트, 갈대는 57개 포인트를 획득하였다. 2016년 자료에서는 칠면초는 36개 포인트, 갈대는 38개 포인트, 갯끈풀은 40개의 포인트의 자료로 구축하였다. Fig. 2는 영상에서 획득한 갈대, 갯끈풀,

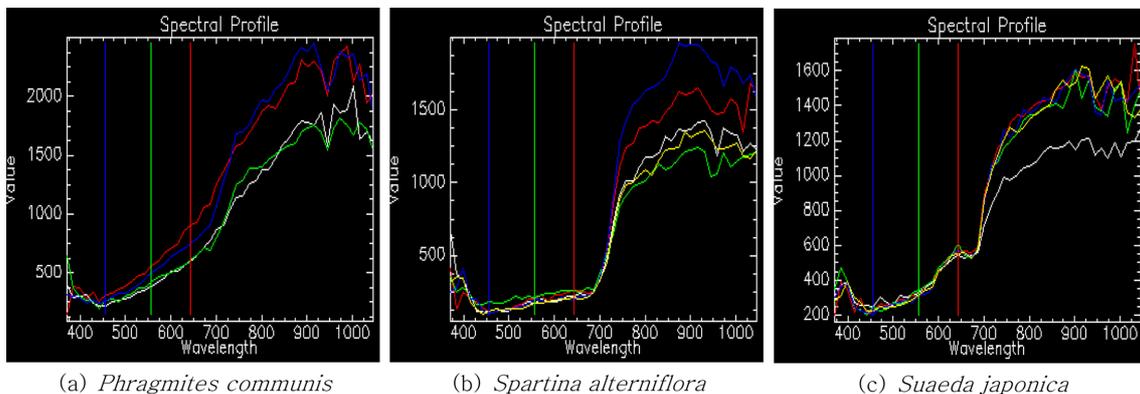


Fig. 2. The spectral profile of halophytes such as (a) *Phragmites communis*, (b) *Spartina alterniflora*, and (c) *Suaeda japonica* in the study area.

칠면초 대한 분광라이브러리를 나타낸 것이다.

염생식물의 시기별 분포 변화 분석을 위해서는 분류 후 비교법(Post-classification comparison)을 적용하여 변화탐지를 수행하였다. 지형에 따른 염생식물 분포특성을 분석하기 위해서 본 연구에서는 인천해수면 기준의 DEM 자료를 국립해양조사원에서 제공하는 기본수준점의 조위관측 결과를 이용하여 지역수준면(약최저저조면) 기준의 표고로 변환하였다. 앞에서 언급한 국가해양생태계 종합조사 자료 중 염생식물 군집의 도면이 존재하는 지역을 대상으로 지역수준면 기준의 고도와 경사를 DEM을 이용하여 추출하였고, 종별 고도와 경사의 특성을 분석하였다. 갯벌 퇴적상에 따라 분포특성을 분석하기 위해서 초분광영상 취득시 구축된 1 m급 항공영상을 참조하여 염생식물과 갯벌, 모래, 암반으로 ENVI 4.7 프로그램을 이용하여 분류하였다. 또한, 국가해양생태계 종합조사 자료 중 염생식물 조사자료와 갯벌조사(퇴적상) 자료가 동시에 존재하는 지역을 대상으로 분포하는 염생식물의 종과 퇴적상을 추출하였다. 염생식물의 종에 따른 퇴적상의 특성을 분석하기 위하여 염생식물의 종별 퇴적상을 나열하여 비교하였다. 조류의 속도와 염생식물의 분포간의 관계를 분석하기 위하여 국립해양조사원에서 제공하는 수치

조류도 프로그램을 이용하여 일정 날짜(2016년 08월 10일 00시~24시)를 기준으로 일 최대 조류 속도 추정 자료를 취득하였다. 조류 속도는 국가해양생태계 종합조사 자료 중 염생식물 조사자료가 존재하는 지점을 대상으로 하였다. 주요 염생식물 종과 일 최대 조류 속도를 비교하였다. 본 연구에서 제안한 기법으로 생성한 분류 결과의 정량적 분석을 위해 참조자료와의 오차행렬을 이용하여 정확도를 계산하여 분석하였으며, 결과에 대한 신뢰도를 나타내기 위해서 카파계수를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 원격탐사 자료를 이용한 염생식물 분류 정확도

3.1.1 위성영상을 이용한 염생식물 분류 정확도

Fig. 3 및 Table 3은 Sentinel-2A 영상의 각 분류기법의 분류 결과와 오차행렬에 대한 결과이다. Sentinel-2A 위성영상의 분류 결과, 정확도와 카파계수가 낮게 나왔으며, 특히 참조 자료가 미분류된 클래스로 나타난 결과가 많았다. 전체 정확도는 MDC가 63.8%로 가장 높았으며, 최소거리분류법, PallaelPiped, SAM=SID 순서로

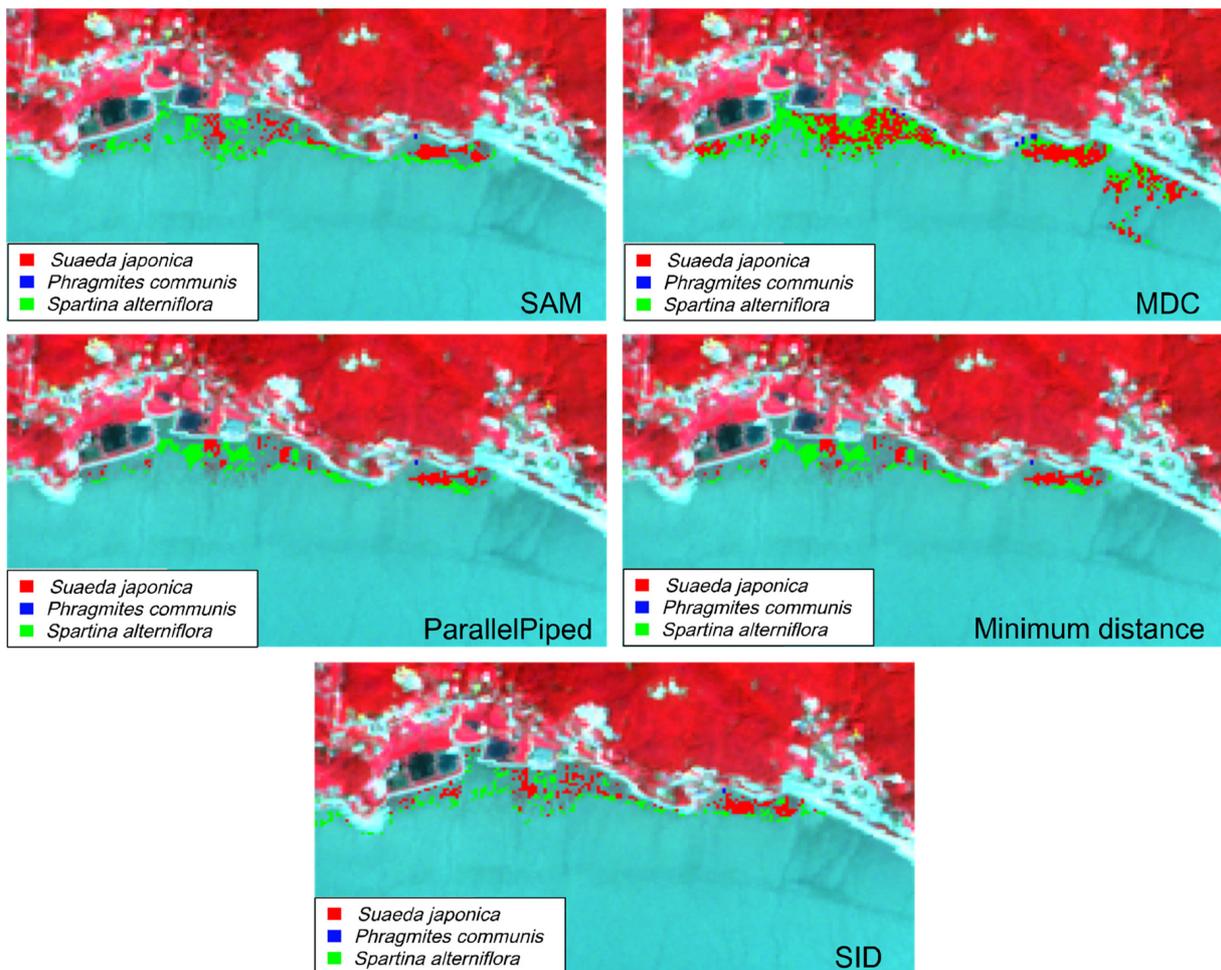


Fig. 3. The satellite image (Sentinel-2A) of *Spartina alterniflora*, *Suaeda japonica*, and *Phragmites communis* by SAM, MDC, ParallelPiped, Minimum distance, and SID techniques in September 2017.

Table 3. The error matrix of satellite image (Sentinel-2A, S-2A) of *Spartina alterniflora*, *Suaeda japonica*, and *Phragmites communis* by SAM, MDC, ParallelPiped, Minimum distance, and SID techniques in September 2017

SAM		Reference data				Overall	Kappa
		<i>S. alterniflora</i>	<i>S. japonica</i>	<i>P. communis</i>	Total	accuracy	coefficient
S-2A	Unidentified	8	11	10	29	(26/58)	0.34
	<i>S. alterniflora</i>	8	1	0	9	44.8%	
	<i>S. japonica</i>	2	9	0	11		
	<i>P. communis</i>	0	0	9	9		
	Total	18	21	19	58		
MDC							
S-2A	Unidentified	3	4	7	13	(37/58)	0.52
	<i>S. alterniflora</i>	12	4	0	16	63.8%	
	<i>S. japonica</i>	3	13	0	16		
	<i>P. communis</i>	0	0	12	12		
	Total	18	21	19	58		
ParallelPiped							
S-2A	Unidentified	8	12	10	30	(28/58)	0.38
	<i>S. alterniflora</i>	10	0	0	10	48.3%	
	<i>S. japonica</i>	0	9	0	9		
	<i>P. communis</i>	0	0	9	9		
	Total	18	21	19	58		
Minimum distance							
S-2A	Unidentified	7	12	10	29	(29/58)	0.41
	<i>S. alterniflora</i>	11	0	0	11	50.0%	
	<i>S. japonica</i>	0	9	0	9		
	<i>P. communis</i>	0	0	9	9		
	Total	18	21	19	58		
SID							
S-2A	Unidentified	10	8	10	28	(26/58)	0.33
	<i>S. alterniflora</i>	6	2	0	8	44.83%	
	<i>S. japonica</i>	2	11	0	13		
	<i>P. communis</i>	0	0	9	9		
	Total	18	21	19	58		

나타났다. 5가지 분류기법에서 갯끈풀, 칠면초가 갈대로 분류되는 결과는 없었으며, 갯끈풀이 칠면초로, 칠면초가 갯끈풀로 오분류되는 결과를 확인할 수 있었다. 이를 통해 낮은 분광해상도로 인해 염생식물의 종 분류를 수행하는데 한계가 있는 것으로 판단된다.

3.1.2 초분광영상을 이용한 염생식물 분류 정확도

초분광영상을 이용한 염생식물 분류정확도가 높게 나타남으로써 염생식물 분류를 위해 분광해상도가 높은 초분광영상 활용이 필요하다. 또한 5가지 분류 알고리즘을 적용해 본 결과 SAM (Spectral Angle Mapper) 알고리즘이 일반적으로 정확도가 높게 나타나, 염생식물 분류를 위해서 초분광영상에 SAM 알고리즘 적용이 가장 적합한 것으로 판단된다.

2012년의 현장조사에서는 칠면초의 생장이 확인되지 않았기 때문에 갈대와 갯끈풀의 훈련자료 및 참조자료를 획득하여 분류 및 정확도 평가를 수행하였다. 갈대는 총 52개의 포인트 중에서 무작

위로 23개의 포인트를 훈련자료로 사용하였으며 나머지 29개의 포인트는 참조자료로 사용하였다. 갯끈풀은 총 57개의 포인트 중에서 무작위로 24개의 포인트를 훈련자료로, 나머지 33개의 포인트를 참조자료로 사용하였다. 위성영상과 비교하여 미분류된 클래스가 줄어들었을 뿐만 아니라 정확도와 카파계수도 상당히 높아진 것을 확인하였다. 전체 정확도는 SAM 기법이 91.9%로 가장 높았으며, 위성영상을 이용한 분류에서 전체 정확도가 가장 높은 결과를 보였던 MDC 기법이 64.5%로 가장 낮은 결과를 나타냈다. 5가지 분류 기법에서 갈대가 갯끈풀로 오분류 되는 결과는 나타나지 않았지만, 갯끈풀이 갈대로 오분류 되는 결과가 발생하였다. 시각적으로 분석했을 때 MDC와 최소거리분류법은 갈대가 잘 분류되지 않은 결과를 나타내었고 특히 MDC는 현장조사 및 영상 판독에 비해 갯벌이 갯끈풀로 분류가 된 것을 확인하였다. 또한 SAM과 SID가 정량적 수치와 마찬가지로 분류가 잘 된 것을 확인하였다. Fig. 4와 Table 4는 2012년 항공초분광영상의 각 분류기법의 분류 결과와 오차행렬의 결과이다.

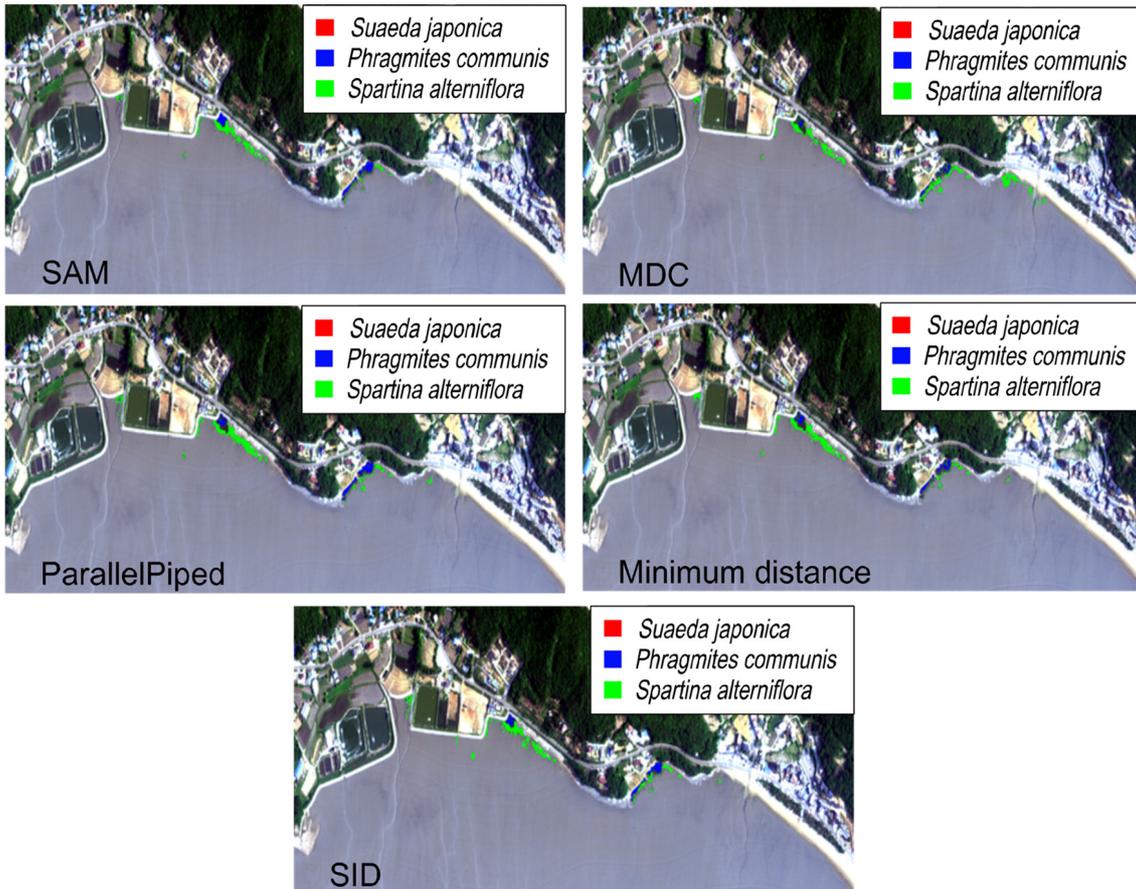


Fig. 4. The hyperspectral image of *Spartina alterniflora*, *Suaeda japonica*, and *Phragmites communis* by SAM, MDC, ParallelPiped, Minimum distance, and SID techniques in June 2012.

항공 초분광 영상자료와 비교하여 6월과 비교하여 9월이 염생식물의 활력도가 높음을 확인하였고 분류 결과에서도 그 양상이 확인되었다. 전체 정확도는 ParallelPiped가 89.7%로 가장 높았으며, SID는 79.3%로 가장 낮은 정확도가 나타났다. 그러나 ParallelPiped의 분류결과를 시각적으로 확인하였을 때 갯끈풀 지역에서 갈대로 오분류된 것을 확인하여 오차행렬과 시각적 분석이 동시에 필요한 것을 확인하였다. 모든 분류 기법에서 갯끈풀이 갈대로 오분류되는 현상이 나타났으며, 그 이유는 갈대는 길이가 높은 염생식물이며, 갯끈풀은 높이가 낮은 식물이기 때문에 두 염생식물이 섞여있는 지역에서 오분류의 결과가 나타남을 판단하였다. 그리고 시각적으로 확인하였을 때 그림자 부근에서 갈대로 오분류되는 결과가 나타났다. 칠면초는 SID 기법을 제외한 나머지 기법에서 오분류되는 결과가 나타나지 않았기 때문에 분류가 잘 된 것을 확인하였다. Fig. 5와 Table 5는 2012년 항공초분광영상의 각 분류기법의 분류 결과와 오차행렬의 결과이다.

3.1.3 원격탐사 종류 및 시기별 분류 결과 분석

본 연구에서는 분류 결과를 원격탐사자료의 종류, 시기 및 분류 방법 별로 비교하고자 하였다. 첫 번째로 원격탐사 자료 종류간 결

과를 비교했을 때 높은 공간 및 분광 해상도를 지닌 항공 초분광영상이 높은 정확도를 획득하였다. 영상 분류를 수행할 때 분류하고자 하는 종류에 따라 자료의 공간해상도를 알맞게 선택해야 효과적인 분류 결과를 얻을 수 있다. 염생식물의 크기를 고려하고 실험 결과를 분석하였을 때, 염생식물은 낮은 공간해상도와 분광해상도를 지닌 위성영상 보다 높은 공간해상도와 분광해상도를 지닌 항공 초분광영상을 사용하는 것이 더 효과적인 것으로 확인하였다. 두 번째로 분류 방법 별로 비교했을 때, 위성영상을 사용했을 때는 MDC 기법이 정확도가 가장 높았으며, 항공 초분광영상을 사용했을 때 전체정확도가 대부분 80% 이상 획득한 것을 확인하였다. 따라서 원격탐사 자료 및 분류하고자 하는 환경 특성에 따라 분류 방법을 선택해야 할 것으로 보인다. 본 연구에서 항공 초분광영상의 결과에서는 SAM 기법이 가장 적합한 기법이라 판단하였다. 2012년 6월에서는 전체 정확도 및 카파계수가 가장 좋은 결과를 보여주었고 시각적으로도 좋은 결과를 나타냈다. 반면에 2016년 11월 자료에서는 다른 기법들 보다 정확도 및 카파계수가 낮았지만 시각적으로 분석하였을 때 다른 기법들과 비슷하거나 더 나은 결과를 보여주었기 때문에 가장 좋은 결과로 판단하였다(Table 6).

Table 4. The error matrix of hyperspectral image (HI) of *Spartina alterniflora*, *Suaeda japonica*, and *Phragmites communis* by SAM, MDC, ParallelPiped, Minimum distance, and SID techniques in June 2012

SAM		Reference data				Overall	Kappa
		<i>S. alterniflora</i>	<i>S. japonica</i>	<i>P. communis</i>	Total	accuracy	coefficient
HI	Unidentified	2	0	2	4	(57/62)	0.85
	<i>S. alterniflora</i>	31	0	1	32	91.9%	
	<i>S. japonica</i>	0	0	0	0		
	<i>P. communis</i>	0	0	26	26		
	Total	33	0	29	62		
MDC							
HI	Unidentified	4	0	17	21	(40/62)	0.46
	<i>S. alterniflora</i>	29	0	1	30	64.5%	
	<i>S. japonica</i>	0	0	0	21		
	<i>P. communis</i>	0	0	11	11		
	Total	33	0	29	62		
ParallelPiped							
HI	Unidentified	4	0	5	9	(54/62)	0.75
	<i>S. alterniflora</i>	29	0	0	29	87.1%	
	<i>S. japonica</i>	0	0	0	0		
	<i>P. communis</i>	0	0	24	24		
	Total	33	0	29	62		
Minimum distance							
HI	Unidentified	6	0	12	18	(44/62)	0.55
	<i>S. alterniflora</i>	27	0	0	27	71.0%	
	<i>S. japonica</i>	0	0	0	0		
	<i>P. communis</i>	0	0	17	17		
	Total	33	0	29	62		
SID							
HI	Unidentified	2	0	5	7	(54/62)	0.77
	<i>S. alterniflora</i>	31	0	1	32	87.1%	
	<i>S. japonica</i>	0	0	0	0		
	<i>P. communis</i>	0	0	23	23		
	Total	33	0	29	62		

3.2 염생식물의 다중시기 분포 변화 분석

3.2.1 시기별 면적 및 클래스 변화

본 연구에서는 SAM 기법의 분류결과를 사용하여 염생식물의 시기별 분포 변화를 분석하고자 하였다. SAM 기법을 선정한 이유는 2012년에서 전체정확도가 가장 높은 분류 결과이며, 2016년에는 ParallelPiped이지만 SAM 기법의 전체정확도가 비슷하였고 시각적으로 확인했을 때 SAM 기법의 분류결과가 더 나았기 때문이다. 또한, 2012년과 2016년의 분류 기법(조건)이 같아야 탐지 정확도에 영향을 미치지 않기 때문이다.

2012년 6월에 분류된 결과와 2016년 11월에 분류된 결과에 대한 염생식물 군락의 면적의 경우, 총 면적은 4,158 m² 이었으며, 갈대의 면적은 1,332 m², 갯끈풀은 2,826 m²로 분류되었다. 이는 2016년 11월에 분류된 결과는 2012년 6월에 분류된 결과와 비교하여 총 면적이 약 1500% 증가한 것이다. 2016년에 대한 염생식물의 총 면적은 66,383 m² 이었으며, 칠면초의 분포 면적이 39,527 m² 가장 높게 나타났다. 2012년과 2016년 결과를 비교해 본 염생식물 클래스의 변화의 경우, 2012년의 갈대 클래스는 총 1332개의 화소를 가

졌으며 이중 미분류(갯끈풀, 칠면초, 갈대를 제외한 나머지)로의 변화는 301개, 갯끈풀은 73개, 칠면초로는 55개로 변화했으며 총 429 개의 화소가 변했다. 갯끈풀의 클래스는 총 2826개였으며 그중 미분류로는 664개, 갈대로는 356개, 칠면초로는 810개로 총 1830개의 클래스가 변했다. 2012년의 갯끈풀이 2016년에 갈대로 변환 클래스가 356개였는데 그 이유는 2016년 분류결과에서 갈대의 높이로 인한 그림자가 갈대로 오분류 되어 그림자에 가려진 갯끈풀이 갈대로 분류되었기 때문이다.

3.2.2 시기별 분포 변화

갯끈풀은 2012년도에는 해안선을 따라 서식하는 갯끈풀이 2016년에는 해안에서 갯벌방향으로 서식지가 늘어나는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 6a). 갈대는 2012년도에는 만조선 부근을 따라 서식하였으며 2012년과 마찬가지로 2016년에도 같은 위치에서만 서식하는 것을 확인하였다(Fig. 6b). 칠면초의 경우 8~9월부터 성장하는 이유로 항공 초분광영상에서 칠면초를 발견할 수 없었으며, 현장조사 또한 발견하지 못했다. 따라서 2012년 6월에 촬영된 초분광 영

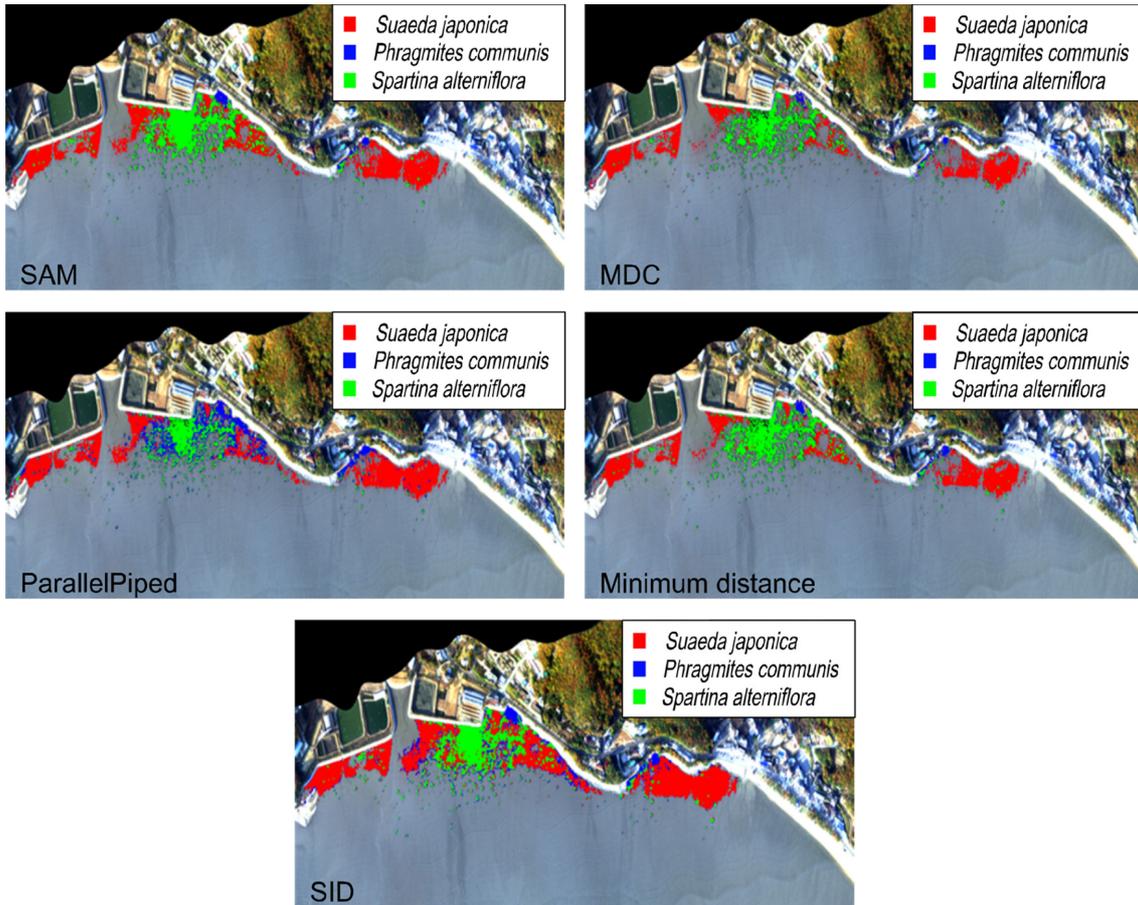


Fig. 5. The hyperspectral image of *Spartina alterniflora*, *Suaeda japonica*, and *Phragmites communis* by SAM, MDC, ParallelPiped, Minimum distance, and SID techniques in November 2016.

상으로는 칠면초를 분류할 수 없었기 때문에 분포 변화를 분석할 수 없었다. 2016년 자료에 기반한칠면초의 분포는 Fig. 6c와 같다.

3.3 환경인자와 염생식물 분포의 상관관계 분석

3.3.1 지형인자와 염생식물 분포의 상관관계

본 연구에서는 인천·경기 지역의 2015~2016년 국가해양생태계 종합조사 수행 지점을 대상으로 염생식물의 종에 따른 분포 표고와 경사도를 분석하였다. 종별로 분포하는 표고의 평균값을 통해 각 종이 분포하는 위치(표고)를 분석하였다. 그 결과 쯤보리사초(*Carex pumila*), 갯잔디(*Zoysia sinica*), 해홍나물(*Suaeda maritima*), 지채(*Triglochin maritima*), 갈대(*Phragmites communis*), 칠면초(*Suaeda japonica*), 천일사초(*Carex scabrifolia*) 순으로 분포하는 표고가 높게 나타났다. 표고의 표준편차를 통해 염생식물의 고도 분포가 얼마나 넓은지 분석해 보았다. 그 결과 갈대, 해홍나물, 갯잔디, 칠면초, 쯤보리사초, 지채, 천일사초 순으로 분포하는 고도의 범위가 큰 것으로 나타났다. 염생식물을 과 단위로 보았을 때, 벼과와 명아주과에 속하는 종의 표준편차가 큰 것으로 나타났다. 이는 벼과와 명아주과에 속하는 종이 비교적 넓은 범위에 분포하고 있음을 의미한다. 반면

사초과와 지채과는 비교적 좁은 고도의 범위에서 띠 형태로 분포하는 것으로 판단된다.

경사에 따른 염생식물의 분포를 살펴보면 갯잔디, 쯤보리사초, 지채, 해홍나물, 갈대, 칠면초, 천일사초 순으로 경사도가 높은 곳에 분포하는 것을 알 수 있다. 경사의 표준편차에 따른 분포는 갯잔디, 해홍나물, 지채, 갈대, 칠면초, 쯤보리사초, 천일사초의 순으로 크게 나타났다. 이는 갯잔디, 해홍나물, 지채의 경우 상대적으로 다양한 경사 범위에 분포하나 갈대, 칠면초, 쯤보리사초, 천일사초의 경우 좁은 범위의 경사도 구간에 분포하는 것을 의미한다. 표고와 경사를 종합하여 종별 분포를 분석하면 Fig. 7과 같다. 쯤보리사초는 높은 표고와 중간 경사에 분포하고, 갯잔디는 높은 표고와 높은 경사에 분포한다. 지채, 해홍나물, 갈대는 중간 표고와 중간 경사에 분포한다. 칠면초와 천일사초는 낮은 표고와 낮은 경사에 분포한다. 요약하자면 지형에 따라 분포하는 종의 특성이 다르며, 따라서 염생식물 관리를 위해 지형적 특성을 고려하여야 한다.

3.3.2 퇴적상과 염생식물 분포의 관계

국가해양생태계종합조사 자료에서 나타난 지역별 종에 따른 퇴

Table 5. The error matrix of hyperspectral image (HI) of *Spartina alterniflora*, *Suaeda japonica*, and *Phragmites communis* by SAM, MDC, ParallelPiped, Minimum distance, and SID techniques in November 2016

SAM		Reference data				Overall	Kappa
		<i>S. alterniflora</i>	<i>S. japonica</i>	<i>P. communis</i>	Total	accuracy	coefficient
HI	Unidentified	4	0	3	7	(47/58)	0.69
	<i>S. alterniflora</i>	14	0	4	18	81.0%	
	<i>S. japonica</i>	0	21	0	21		
	<i>P. communis</i>	0	0	12	12		
	Total	18	21	19	58		
MDC							
HI	Unidentified	2	0	2	4	(50/58)	0.79
	<i>Spartina</i>	16	0	4	23	86.2%	
	<i>Sueda</i>	0	21	0	21		
	<i>Phragmites</i>	0	0	13	13		
	Total	18	21	19	58		
ParallelPiped							
HI	Unidentified	2	0	1	3	(52/58)	0.86
	<i>Spartina</i>	14	0	1	14	89.7%	
	<i>Sueda</i>	0	21	0	14		
	<i>Phragmites</i>	2	0	17	19		
	Total	18	21	19	58		
Minimum distance							
HI	Unidentified	2	0	3	5	(49/58)	0.78
	<i>Spartina</i>	16	0	4	20	84.5%	
	<i>Sueda</i>	0	21	0	21		
	<i>Phragmites</i>	0	0	12	12		
	Total	18	21	19	58		
SID							
HI	Unidentified	0	0	0	0	(46/58)	0.69
	<i>Spartina</i>	13	0	5	18	79.3%	
	<i>Sueda</i>	4	21	2	27		
	<i>Phragmites</i>	1	0	12	13		
	Total	18	21	19	58		

Table 6. The comparison of satellite (Sentinel-2A) and hyperspectral (CASI-1500) image

Technique	Sentinel-2A		CASI-1500			
	Sep. 2017 (n=58)		Jun. 2012 (n=62)		Nov. 2016 (n=58)	
	Accuracy (%)	Kappa coefficient	Accuracy (%)	Kappa coefficient	Accuracy (%)	Kappa coefficient
SAM	44.8	0.34	91.9	0.85	81.0	0.69
MDC	63.8	0.52	64.5	0.46	86.2	0.79
ParallelPiped	48.3	0.38	87.1	0.75	89.7	0.86
Min. distance	50.0	0.40	71.0	0.55	84.5	0.78
SID	44.8	0.33	87.1	0.77	79.3	0.69

적상을 나열하였다(Table 7). 퇴적상 분류는 삼각다이어그램법을 이용하였다(Folk[1954]). 그 결과 종에 따라 분포하는 퇴적상이 일정한 것으로 나타났다. 퇴적상을 니질, 사질의 대분류로 구분하여 분포하는 종을 분석한 결과 대부분의 종이 니질에 분포하는 것으로 나타났고, 좀보리사초의 경우 사질에 분포하는 것으로 나타났다.

3.3.3 조류와 염생식물 분포의 관계

7종의 서식지별 일일최대 유속을 수치조류도 프로그램에서 추출

하여 1일 최대 유속의 종별 평균값을 비교하였다. 그 결과 천일사초가 가장 빠른 유속에 서식하고 갈대와 칠면초가 가장 느린 유속에 서식하였다. 종별 평균 값의 차이가 유의한지 여부를 ANOVA(Analysis of Variance)로 검정하였다. 통계분석결과 F=0.075로 기각치인 F=2.409를 넘지 못하여 7종의 평균값의 차이는 유의하지 않은 것으로 나타났다(p=0.998). 따라서, 유속과 염생식물 종은 관계가 없는 것으로 판단된다.

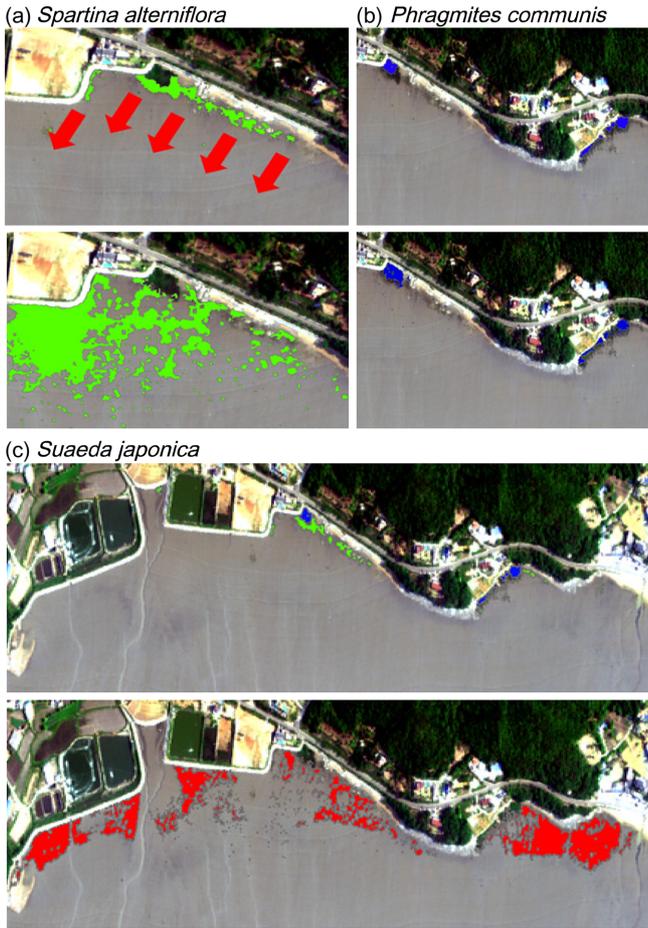


Fig. 6. The change of halophyte habitat such as *Spartina alterniflora*, *Phragmites communis*, and *Suaeda japonica* in mudflat between 2012 to 2016.

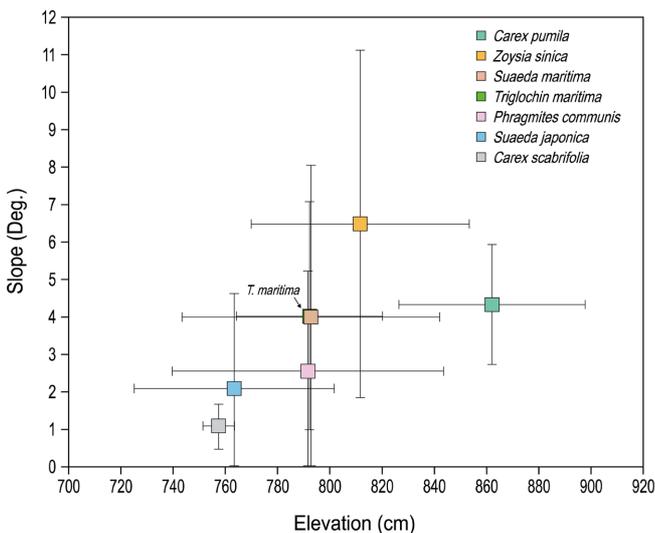


Fig. 7. The distribution characteristic of halophyte habitats depending on elevation and inclination angle.

4. 결 론

본 연구에서는 염생식물을 대상으로 Sentinel-2A 위성영상과 CASI-1500 초분광영상 원격탐사 자료를 활용하여 5가지 알고리즘들에 대해 염생식물의 종 분류 가능성을 파악하고 시기별 분석을 통해 염생식물의 분포 변화를 분석하였다. 그리고 염생식물의 분포에 영향을 미치는 환경인자를 제시하여 향후 염생식물의 효율적인 관리가 이루어질 수 있는 방안을 제시하였다. Sentinel-2A 위성영상은 정확도와 카파계수가 낮게 나왔으며 특히 참조 자료가 미분류된 클래스로 나타난 결과가 많았다. 따라서, 낮은 분광해상도와 공간해상도로 인해 염생식물의 세분류를 수행하기에는 적절치 않은 것으로 사료된다. CASI-1500 초분광영상은 2012년 6월과 2016년 9월에 촬영된 영상을 활용하여 분류하였다. 2012년 6월에 촬영된 초분광영상의 분류 결과, 위성영상에 비해 미분류된 클래스가 감소하였고 정확도와 카파계수가 상당히 높아진 것을 확인하였다. 분류 기법별 정확도는 SAM 기법이 91.9%로 가장 높았으며 MDC 기법이 64.5%로 가장 낮은 결과를 나타냈다. 5가지 분류기법에서 갈대가 갯끈풀로 오분류 되는 결과는 나타나지 않았지만, 갯끈풀이 갈대로 오분류 되는 결과가 발생하였다. 시각적으로 분석했을 때 MDC와 최소거리분류법에서는 갈대가 잘 분류되지 않았으며, 특히 MDC는 현장 조사 및 영상 판독에 비해 갯벌이 갯끈풀로 분류가 된 것을 확인하였다. 또한 SAM과 SID가 정량적 수치와 마찬가지로 분류가 잘 된 것을 확인하였다. 2016년 9월에 촬영된 영상의 경우, 2012년 6월 영상과 비교하여 염생식물의 활력도가 높았으며 분류 결과에서도 그 양상이 확인되었다. 전체 정확도는 ParallelPiped가 89.7%로 가장 높았으며, SID는 79.3%로 가장 낮은 정확도가 나타났다. 그러나 ParallelPiped의 결과를 시각적으로 확인하였을 때 갯끈풀 지역에서 갈대로 오분류 된 것을 확인하여 오차행렬과 시각적 분석이 동시에 필요한 것을 확인하였다. 모든 분류 기법에서 갯끈풀이 갈대로 오분류 되는 현상이 나타났으며, 그 이유는 갈대에 비해 갯끈풀의 초고가 낮기 때문에 두 염생식물이 섞여 있는 지역에서 오분류의 결과가 나타나는 것으로 판단된다. 실제로 시각적으로 확인하였을 때 갯끈풀의 그림자가 갈대로 오분류 되는 결과가 나타났다. 칠면초는 SID 기법을 제외한 나머지 기법에서는 오분류가 나타나지 않았기 때문에 비교적 적절히 분류된 것을 확인하였다. 최적의 분류 기법이라고 판단된 SAM 기법의 결과를 바탕으로 염생식물의 시기별 분포 변화를 분석하였다. 2016년 11월은 2012년 6월에 비교해 염생식물의 총 면적이 약 1,500% 증가한 것으로 나타났다. 염생식물의 시기별 분포특성은 갯끈풀의 경우, 해안에서 갯벌방향으로 서식지가 늘어났지만 갈대는 만조선 부근에서만 서식하는 것을 확인하였다. 표고와 경사에 따른 종의 분포를 분석한 결과, 종별로 분포하는 지형에 대한 특징이 있음을 알 수 있었다. 퇴적상에 따른 종의 분포를 분석한 결과 대부분의 종이 니질에 분포하는 것으로 나타났고, 쯔보리사초의 경우에는 사질에 주로 분포하는 것으로 나타났다. 조류의 유속과 염생식물 종 분포에 상관관계가 크지 않은 것으로 판단되었다. 결과적으로 염생식물의 분포에 영향을 미치는 인자는

Table 7. The types of sediment by halophyte habitats

Species	Location	Sediment type	Folk (1954)
<i>Phragmites communis</i>	Donggum Is.	silt	Z
	Dongmak-ri	slightly gravelly mud	(g)M
	Janghwa-ri	silt	Z
	Gojan-dong	silt	Z
	Sunjae Is.	gravelly mud	gM
<i>Zoysia sinica</i>	Donggum Is.	silt	Z
	Dongmak-ri	slightly gravelly mud	(g)M
	Janghwa-ri	silt	Z
	Hanagae	silty sand	zS
	Gojan-dong	silt	Z
<i>Carex pumila</i>	Sunjae Is.	gravelly mud	gM
	Donggum Is.	silt	Z
	Dongmak-ri	slightly gravelly mud	(g)M
	Janghwa-ri	silt	Z
	Hanagae	silty sand	zS
<i>Triglochin maritima</i>	Sunjae Is.	gravelly mud	gM
	Jeabu Is	slightly gravelly muddy sand	(g)mS
	Donggum Is.	silt	Z
	Dongmak-ri	slightly gravelly mud	(g)M
	Janghwa-ri	silt	Z
<i>Carex scabrifolia</i>	Hanagae	silty sand	zS
	Gojan-dong	silt	Z
	Sunjae Is.	gravelly mud	gM
	Janghwa-ri	silt	Z
	Hanagae	silty sand	zS
<i>Suaeda japonica</i>	Gojan-dong	silt	Z
	Sunjae Is.	gravelly mud	gM
	Donggum Is.	silt	Z
	Dongmak-ri	slightly gravelly mud	(g)M
	Hanagae	silty sand	zS
<i>Suaeda maritima</i>	Gojan-dong	silt	Z
	Sunjae Is.	gravelly mud	gM
	Donggum Is.	silt	Z
	Dongmak-ri	slightly gravelly mud	(g)M
	Janghwa-ri	silt	Z
	Hanagae	silty sand	zS
	Gojan-dong	silt	Z
	Sunjae Is.	gravelly mud	gM
	Sunjae Is.	gravelly mud	gM

크게 지형과 퇴적상으로 판단되고, 이는 갯벌의 개발 등으로 인하여 지형과 퇴적상이 변화하는 경우 염생식물의 분포가 변화할 수 있음을 시사한다. 따라서 염생식물의 보존 및 관리를 위하여 지형과 퇴적상의 두 가지 인자를 고려할 필요가 있다.

후 기

본 연구는 해양수산부 재원으로 “Marine ecosystem-based analysis and decision-making support system development for marine spatial planning (20170325)” 및 “Development of blue carbon information

system and its assessment for management (20170318)” 연구의 지원을 받아 수행하였습니다.

References

- [1] Baek, S.O., Kim, H., Jeong H., Ju, E., Kong, C.-S., Seo, Y., 2015, Antioxidant activity of the halophyte *Ligustrum japonicum*, KSBB Journal, 30(6), 275-282.
- [2] Biological Resources Research Department, 2013, The compilation of inventory of national biological resources II: The doc-

- umentation of type and voucher specimens of indigenous species of Korea, National Institute of Biological Resources.
- [3] Braun-Blanquet, J., 1964, Pflanzensoziologie, Springer-Verlag, 3rd ed., Vienna, New York, 865p.
- [4] Craft, C., Clough, J., Ehman, J., Joye, S., Park, R., Pennings, S., Guo, H., Machmuller, M., 2009, Forecasting the effects of accelerated sea-level rise on tidal marsh ecosystem services, *Front. Ecol. Environ.*, 7(2), 73-78.
- [5] Costanza, R., d'Arge R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997, The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, 387, 253-260.
- [6] Crooks, S., von Unger, M., Schile, L., Allen, C., Whisnant, R., 2017, Understanding strategic blue carbon opportunities in the seas of East Asia, PEMSEA report, 1-56.
- [7] Folk, R.L., 1954, The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature, *J. Geol.*, 62(4), 344-359.
- [8] Hong, S.H., Chun, S.S., Eom, J.A., 2015, The 2009-based detailed distribution pattern and area of *Phragmites communis*-dominant and *Suaeda japonica*-dominant communities on the Suncheon-bay and Beolgyo estuarine wetlands, *J. Wet.*, 17(1), 26-37.
- [9] Howard, J., Sutton-Grier, A., Herr, D., Kleypas, J., Landis, E., Mcleod, E., Pidgeon, E., Simpson, S., 2017, Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation, *Front. Ecol. Environ.*, 15(1), 42-50.
- [10] Jensen, J.R., 2006, Remote sensing of the environment: an earth resource perspective, 2nd ed., Pearson, 592p.
- [11] Jeong, H., Kim, H., Ju, E., Lee, S.-G., Kong C.-S., Seo, Y., 2017, Antiinflammatory activity of solvent-partitioned fractions from *Atriplex gmelinii* C. A. Mey. in LPS-stimulated RAW264.7 macrophages, *J. Life Sci.*, 27(2), 187-193.
- [12] Kim, C.S., 1971, An ecological study on the process of plant community formation in tidal land, *J. Plant Biol.*, 14(4), 164-169.
- [13] Kim, Y.A., Um, Y.R., Lee, J.I., Kim, H.J., Lim, S.Y., Nam, T.J., Seo, Y.W., 2009, Comparative studies on the fatty acid compositions of the Korean salt marsh plants in the West Sea, *KSBB Journal*, 24(6), 521-526.
- [14] Kong, B.W., 2014, Characteristics of halophytes distribution and groundwater quality in the Suncheon Bay, Master thesis, Suncheon National University.
- [15] Lee, C.B., 1999, Illustrated Flora of Korea, Seoul: Hyang Mun Sa, Korea.
- [16] Lee, J.S., 2003, On establishment and community formation mechanism of halophytes for vegetation restoration in mudflat ecosystem, Korea, Korea Science and Engineering Foundation.
- [17] Lee, J.S., Ihm, B.S., Myeong, H.H., Park, J.W., Kim, H.S., 2009, Soil environment analysis and habitat of halophyte for restoration in the salt marshes of Southern and Western Coasts of Korea, *Korean J. Plant Res.*, 22(1), 102-110.
- [18] Lee, Y.R., 1996, Flora of Korea, Seoul: Gyo Hak Sa, Korea.
- [19] Ihm, B.S., 1987, The Distribution and Growth of Halophytes at the Coastal Marsh, *Bull. Inst. Litt. Biota*, 4(1), 71-79.
- [20] Min, B.M., 1985, Changes of soil and vegetation in coastal reclaimed lands, West Coast of Korea, Doctoral thesis, Seoul National University.
- [21] Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), 2015, Marine Ecological Database, Korea, <http://www.ecosea.go.kr>.
- [22] Noe, G.B., Zedler, J.B., 2001, Spatio-temporal variation of salt marsh seedling establishment in relation to the abiotic and biotic environment, *J. Veg. Sci.*, 12(1), 61-74.
- [23] Oh, H.K., Roh, J.H., 2013, Distribution characteristics of halophytes resource in wetland protected area at the Gomso Bay, *Korean Institute of Forest Recreation*, 17(2), 127-140.
- [24] Oh, K.H., Ihm, B.S., 1983, Seasonal changes in the productivity and soil nutrients of *Phragmites communis* community in the salt marsh of the Sumjin-River Estuary, *Korean J. Ecology*, 6(2), 90-97.
- [25] Pandya M., Baxi, A., Potdar, M.B., Kalubarme, M.H., Agrawal, B., 2013, Comparison of various classification techniques for satellite data, *IJSER*, 4(2), 1-6.
- [26] Park, J.M., Lee, S.M., 2018, Greening methods on the back of coastal waterproof wall using halophytes, *JFMSE*, 30(1), 342-353.
- [27] Park, S.Y., Lee, J.Y., 2009, Aquatic Plant, Paju: Bo Rim, Korea.
- [28] Peña-Barragán, J.M., López-Granados, F., Jurado-Expósito, M., García-Torres, L., 2006, Spectral discrimination of *Ridolfia segetum* and sunflower as affected by phenological stage. *Weed Res.*, 46(1), 10-21.
- [29] Shim, H.B., Seo, S.M., Choi, B.H., 2002, Floristic survey of salt marshes and dunes on Gyeonggi Bay in Korea, *Korean J. Environ. Biol.*, 20(1), 25-34.
- [30] Van der Meer, F., 2006, The effectiveness of spectral similarity measures for the analysis of hyperspectral imagery, *Int. J. Appl. Earth Obs.*, 8(1), 3-17.
- [31] Zhang, E., Zhang, X., Yang, S., Wang, S., 2014, Improving hyperspectral image classification using spectral information divergence, *IEEE Geosci. Remote S.*, 11(1), 249-253.

Received 7 December 2018

Revised 10 December 2018

Accepted 14 December 2018