

## ORIGINAL ARTICLE

# 항공 초분광 영상과 SAM 기법을 이용한 백화현상 탐지 -서해 도서 지역을 중심으로-

김용석\*

동아대학교 디자인환경대학 조경학과 교수

## Detection of Urchin Barren Using Airborne Hyperspectral Imagery and SAM Technique – Focusing on the West Sea Island Areas

Yong-Suk Kim\*

Department of Landscape Architecture, Dong-A University, Busan 49315, Korea

## Abstract

The coastal urchin barren phenomenon in our country began to spread and expand from the 1980s, centering on the southern coast and Jeju Island, and by the 1990s, it appeared along the east coast and nationwide. The urchin barren phenomenon is mainly conducted through field surveys by diving, but recently, various surveying techniques have been applied. In this study, a spectral library for terrestrial and marine areas was established for the identification of urchin barrens using airborne hyperspectral imagery, and the distribution area was analyzed through the SAM (spectral angle mapper) algorithm. An analysis of the urchin barren phenomenon in the five islands of the West Sea revealed that it occurs in most areas, with the combined severity of the urchin barren phenomenon in Sapsido and Oeyeondo being approximately 19.9%. Hyperspectral imagery is expected to be highly useful not only for detecting the urchin barren phenomenon but also for managing and monitoring marine fishery resources through the classification of seaweeds.

**Key words** : Urchin barren, Multi-spectral sensor, Spectral library, SAM

## 1. 서 론

백화현상은 연안에서 다양한 요인에 의해 염상형 해조류가 소멸하고 시멘트와 같은 석회질로 된 딱딱한 홍조류인 무절석회조류가 암반을 뒤덮고 있는 현상이다. 우리나라의 경우 서해 연안 지역은 바다와 육지가 서로 가깝고 복잡한 지형을 갖추고 있어 바람과 기압 등으로 인해 백화현상이 발생할 확률이 높으며, 특히 해류, 온습도와도 밀접한 환경적 요인이 작용하기 때문이다. 바닷속의 해조류가 사라지면 그것을 먹이사슬로 하는 성

게나 전복 등의 어족자원이 감소하고, 바다숲을 서식처나 산란장으로 이용하는 모든 수중생물의 자원 또한 감소하게 되어 결국 마을 어장이 황폐해지는 결과를 초래한다(Hwang et al., 2017). 이러한 백화현상은 2000년대 들어 인간의 인위적 어장확장과 한반도 주변 해수면의 수온 상승 등이 원인으로 파악되고 있다. 이를 조사하는 방법은 선박에 장착된 다양한 관측 장비를 이용하거나 수중 잠수 조사에 의한 현장 조사 방법 등으로 나눌 수 있다. 잠수 조사는 비교적 정확한 방법이지만, 많은 시간과 경비가 소요되며, 넓은 지역을 조

Received 19 June, 2024; Revised 11 July, 2024;

Accepted 16 July, 2024

\*Corresponding author : Yong-Suk Kim, Department of Landscape Architecture, Dong-A University, Busan 49315, Korea

Phone : +82-51-200-7579

E-mail : rosekys@dau.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

사하기에는 한계가 있다. 또한 선박에 의한 방법은 일반적으로 도곽을 중심으로 일정한 거리를 갖는 간격으로 표본 지점을 조사하는 방식으로 조사 밀도가 낮아 미조사 지역이 발생하는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복한 조사 기법으로 광역적 지역에 대한 신속하고 정확한 분류 기술인 항공 초분광 영상 기술이 적용되고 있는 실정이다.

초분광 영상(hyperspectral image)은 영상을 구성하는 각 화소에 해당하는 지표물의 연속적이고 완전한 분광 정보를 취득하는 방식으로 좁은 파장 대역에 수십에서 수백 개의 분광 밴드를 가지고 데이터를 취득하는 기술이다. 이러한 미세한 분광특성을 이용하여 연안의 피복 분류, 식생 분포 및 백화현상 등을 조사하는 데 활용할 수 있다(Choi et al, 2014).

현재 초분광 영상을 이용하여 다양한 분야 중에서 특히 해양 분야에 많은 연구들이 진행되고 있다. 이에 대한 연구 동향을 간략히 정리하면, Kim et al.(2015)은 연안 지역의 초분광영상 자료를 이용하여 수심별 추정 알고리즘의 정확도를 제시하였다. Ga et al.(2004)은 초분광 영상 분류를 수행하면서 최대우도분류(MLC) 보다 SAM (spectral angle mapper), SFF (spectral feature fitting) 알고리즘이 더 효과적이고 정확하다는 것을 확인하였다. Kim(2021)은 하천 지역의 생태계교란식물 분류를 위하여 대상별 초분광 스펙트럼을 구축하고 분광각매핑을 적용하여 분류 정확도를 제시한 바 있다. 그리고 Park(2009)은 EO1-Hyperion 초분광 영상의 분류에 있어 이론적으로 밴드 수가 많을수록 분류정확도가 높을 것으로 판단하여 다변량 통계분석 중 정준상관분석을 적용한 분류기법을 제안하였고, Choi et al.(2006)은 Hyperion 영상에 polynomial kernel, RBF kernel을 이용한 SVM 기법을 적용하여 토지피복 분류를 시행한 결과의 우수성을 제시하였다. Lee et al.(2016)은 항공 하이퍼스펙트럴 영상을 이용하여 대기보정 유무에 따른 해수, 갯벌, 식생, 아스팔트, 콘크리트 등의 토지피복 항목별 분광반사율의 특성을 비교하였으며, Park et al.(2017)은 초분광 영상을 이용한 토지피복분류를 위해 PC (principle component) 밴드와 NDVI (normalized difference vegetation index) 자료에 대하여 감독분류를 수행하고, 정확도 향상을 위하여 morphological filter를 통해 각 밴드의 extended attribute profiles (EAP) 적용한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 항공 초분광 영상을 이용하여 서해 도서 5개 지역에 대한 백화현상을 탐지하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 지상 및 해역 분광 라이브러리를 구축하고 SAM 알고리즘을 적용한 백화현상 분류 결과를 제시하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 연구자료 및 방법

본 연구에서는 서해 연안 5개 도서에 대하여 백화현상 진행 및 피해 면적을 탐지하고자 초분광 영상을 이용하여 분석하였다. 연구대상지는 삼시도, 호도, 어청도, 외연도, 녹도를 대상으로 전체 면적 약 11.85 km<sup>2</sup>이고, 백화현상 분석을 위한 암반 대상 면적은 약 1.68 km<sup>2</sup>이다. Fig. 1은 연구대상지의 현황도를 제시하였고, Fig. 2는 연구흐름도를 나타내었다. 본 실험에서는 데이터 획득과 영상의 전처리는 완료된 데이터를 기반으로 암반 분류 및 백화현상 분석(Fig. 2의 우측)을 진행하였다. 암반에 걸쳐 확산하고 있는 백화현상을 추출하기 위하여 지상 및 해역 분광 라이브러리를 구축하고 재질을 분류하였다. 그리고 SAM 알고리즘을 이용하여 백화현상의 진행 상태를 파악하고 면적을 산출하였다.

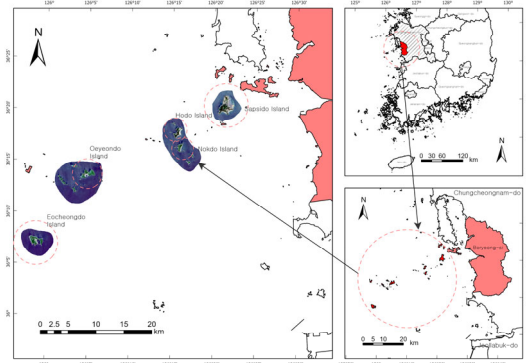


Fig. 1. Status map of the study area.

### 2.2. 지상 및 해역 분광 라이브러리

지표 물체에 대한 분광 정보는 재질을 식별하는 데 가장 중요한 정보가 된다. 각각의 물체마다 성분, 입자 상태 등에 따라 고유한 분광 특성이 있다. 초분광영상 자료의 분석을 위해 이용되는 대부분의 방법은 특정

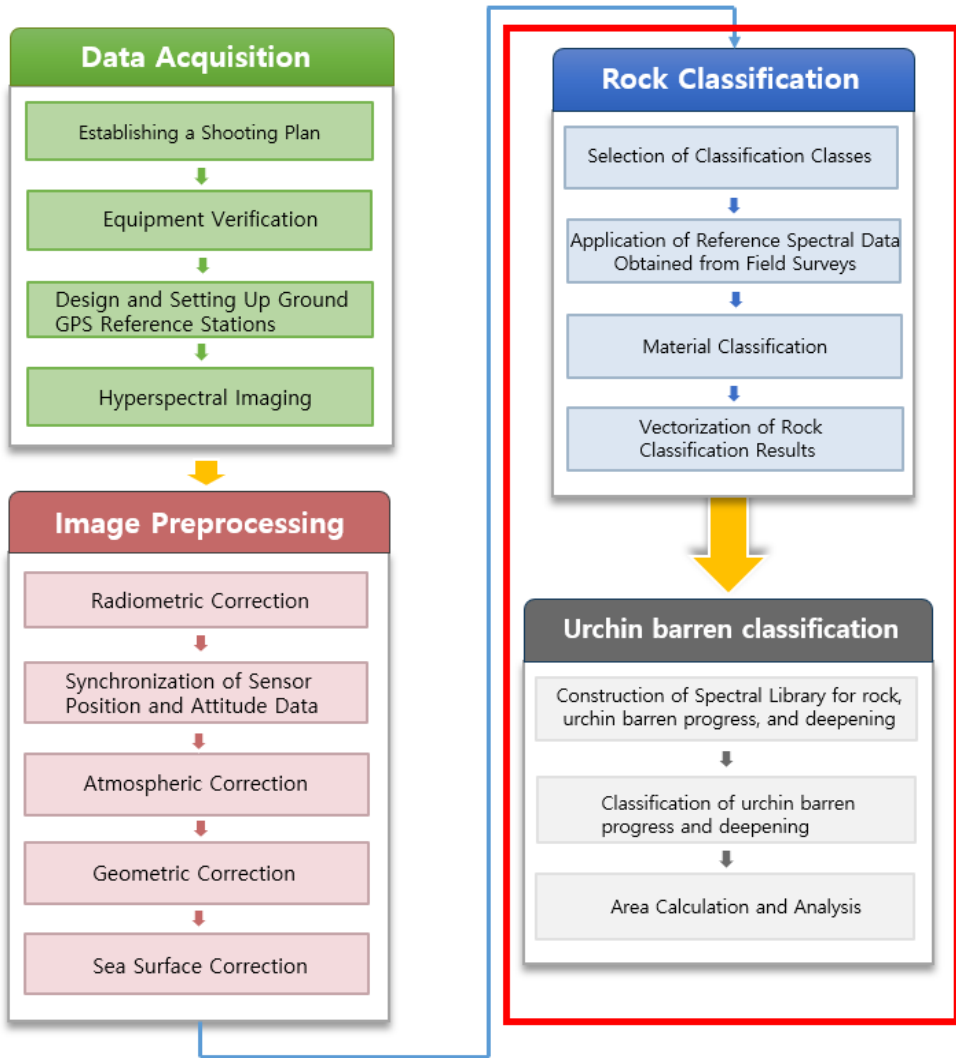


Fig. 2. Classification process of urchin barren.

물체들을 직접적으로 인지하지 않고 알고자 하는 물체와 얼마나 유사한지에 대해 구별한다. 분광 라이브러리 측정은 초분광 촬영과 동시에 실시할 때 가장 좋은 결과를 얻을 수 있으나, 촬영 시기 및 접근이 어려운 사유 등으로 동일시기를 맞추기가 어려운 편이다. 하지만, 백화현상 및 암반, 모래 보정에 사용되는 재질이 시기에 따른 반사율의 변화가 미비한 물질(invariant target)이므로 시기를 크게 벗어나지 않는 정도에서 자료를 취득하였으며, 그 결과를 처리한 데이터를 사용

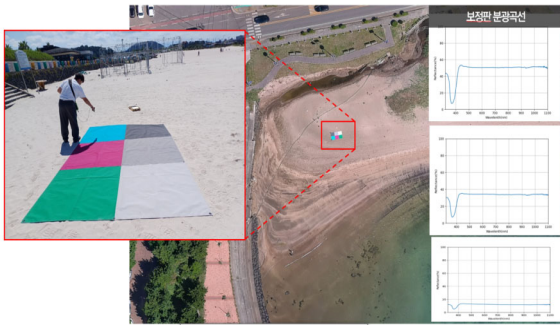
하였다. Table 1은 지상 분광측정기에 대한 재원을 나타내었고, Fig. 3은 캘리브레이션에 대한 분광스펙트럼을 측정하는 모습이다.

### 2.2.1. 지상 분광 라이브러리

대상 지역에서 구축해야 할 분광 라이브러리의 상태별, 재질별 분광 라이브러리의 구축을 위하여 지상 분광기를 이용하여 암반, 모래 등의 분광 라이브러리를 구축하였다. 분광각 측정은 시야각 FOV (field of view)를

**Table 1.** The spec of spectroscopic reflectometer (PSR-1100f)

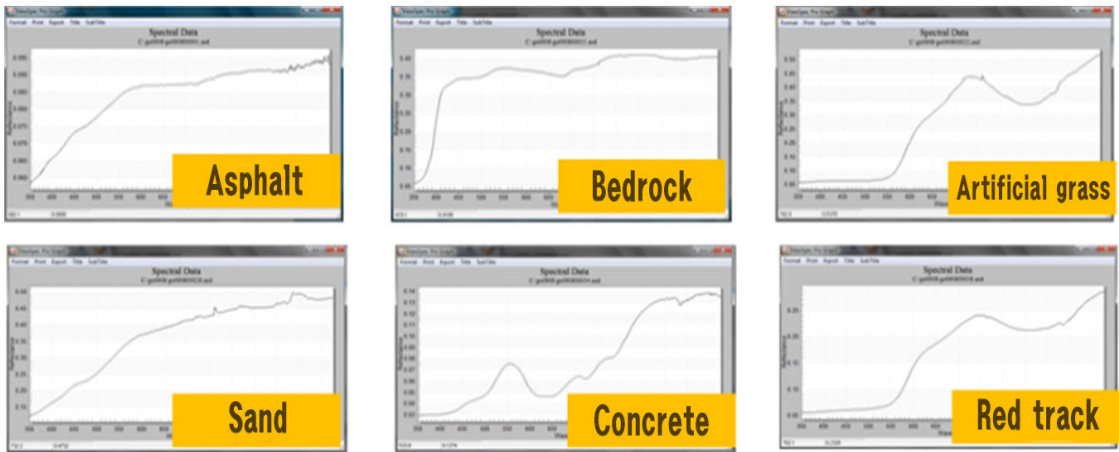
Spectral range	320 ~ 1100 nm		
Sampling interval	1.5 nm		
Spectral resolution	3.2 nm		
Detectors	512 channel		
Typical data Collection rate	10 spectra/second		
FOV(angle)	Fixed 10° field of view		



**Fig. 3.** Target calibration plate measurement.



**Fig. 4.** FOV determination.



**Fig. 5.** Ground spectral library (X : Wavelength, Y : Reflectance).

결정해야 하며, 실험 지역의 환경과 대상물의 혼합 상태 등을 고려하여 10°로 적용하여 취득하였다(Fig. 4).

대상물 측정에 앞서 기준이 되는 표준백색 판(BaSO<sub>4</sub>)을 각 파장대별로 관측하고, 이 값을 1로 한 대상물의 상대적 반사율을 주어진 계산에 의해 구할

수 있다. 표준 백색판에 의한 측정이 완료되면, 그 값을 기준으로 대상 재질의 반사 값을 측정하여 입사량으로 나누어서 반사율을 계산한다. 그리고 현장에서 구분할 수 있는 재질별 분광 라이브러리를 구축(암반, 모래, 콘크리트 등) 제작하였다(Fig. 5).

### 2.2.2. 해역 분광 라이브러리

해역 분광 측정은 조하대 초분광 촬영을 위해서 수중 촬영을 실시하고, 현장에서 다수의 촬영을 통해 데이터를 획득한 것을 사용하였다. 촬영은 조하대에 100 m 길이의 로프를 설치하고, 이를 따라서 촬영하여 해당 지역에 대한 해역 분광 측정을 취득하였다. Fig. 6은 수집된 수중 초분광 원시데이터는 왜곡을 보정하기 위하여 영상정합을 실시하였다. 데이터 보정은 해저면과 센서 사이의 거리가 일정하지 않아 발생하는 기하학적 왜곡을 보정하기 위해 취득 장비의 전용 s/w(Immersion)를 사용했다.

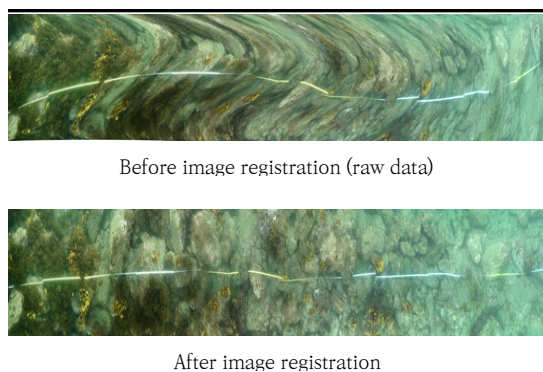


Fig. 6. Image geometric correction results.

연구에서는 제공받은 해역 분광 데이터를 기반으로, 원시데이터 취득 시 포함되는 외부표정 요소(x, y, z, omega, phi, kappa) 값을 사용하여 기하보정을 실시하였다. 지점별 복사휘도 및 반사도의 이미지 생성을 포함하여 노이즈 제거를 통해 RGB 영상을 제작하였다 (Fig. 7).

초분광 영상의 파장대역은 320 nm ~ 1,100 nm이며, 1.5 m 간격으로 측정한다. 분광반사계는 태양광을 100 % 반사하는 황산바륨(BaSO<sub>4</sub>)소재의 자체적인 표준백색 판을 기준으로 분광반사율을 계산한다. 수역에서 청색 파장영역이 다른 파장의 광들보다 투과율이 높게 나타났으며, 근적외선 이후 파장영역에서는 수심과 탁도에 의한 영향을 많이 받는 단점이 있다. 물은 청색(400 ~ 500 nm) 범위에서 나타났으며, 녹색파장(500 ~ 600 nm)에서 반사율이 나타남을 알 수 있으며, 측정된 대상의 분광 영역은 530 ~ 560 nm의 범위 값에 있는 자료를 주로 이용하였다. 부유물질에 의해 발

생되는 노이즈에 의한 왜곡된 분광영역은 대상에서 제외하고 처리하였다. 본 논문에서는 이렇게 처리된 해역 분광 라이브러리를 적용하였다(Fig. 8).

### 2.3. 초분광 영상 처리

서해 연안해역에 대해 백화현상을 탐지하기 위해 촬영한 항공 초분광 영상을 이용하여 암반 및 백화현상에 대해 샘플 탐지를 실시하고, 그 결과를 바탕으로 면적을 산출하였다. 항공 초분광 영상은 Specim사의 Aisa FENIX 1K를 활용하였다. 초분광 영상은 특정 물질이 보유하고 있는 고유 반사율을 영상으로부터 획득하여 서로 다른 물질 간의 차이를 구분할 수 있는 특징이 있다. 따라서, 암반(580 ~ 630 nm), 모래(500 ~ 580 nm), 백화현상(450 ~ 530 nm)과 같은 고유의 반사 특성이 있는 물질을 구분하기 위한 방법으로 적합하며 암반과 백화현상의 파장대역에 대한 샘플 스펙트럼을 바탕으로 구분할 수 있다.

전체 암반 및 백화현상 분류를 위한 과정은 크게 여러 레이어의 정합과 분광 라이브러리와 매칭을 위한 영상 전처리, 대상물의 샘플 탐지, 탐지 결과를 데이터베이스화하여 분포면적과 비율을 계산하는 과정으로 수행하였다.

#### 2.3.1. 초분광 영상을 이용한 암반 분류

암반 분류는 분류 등급을 정의하고, 훈련샘플을 수집, 초분광 영상을 이용한 재질 분류를 통하여 진행하였다. 우선 초분광 영상을 이용하여 각 화소의 재질이 무엇인지 분류하기 위해서는 기준이 되는 분광반사율을 사용한 초분광 영상에서 취득하였다. Fig. 9는 훈련샘플 수집을 통해 나타난 기준 분광반사율을 나타내고 있으며, 대표적인 암반(적색)과 백화현상(녹색)의 파장대를 제시하였다. 분광반사율은 영상의 변이를 고려하여 20개 화소의 반사율을 평균하여 기준 분광반사율을 나타내었다. 여기서 백화현상의 분광 파장대는 광량에 따른 오차 등이 많이 나타나는 반사 강도를 제외하고 거의 동일한 형태의 반사율만을 고려하여 도출하였다. Fig. 10은 분광계를 통해 확인한 백화현상(붉은색: 450 ~ 530 nm)의 라이브러리를 구축하였으며, 구축된 분광 라이브러리는 영상 내 픽셀의 분광 반사 곡선과 분광 라이브러리의 일치도를 평가하는 샘플 탐지를 위해 사용한다.

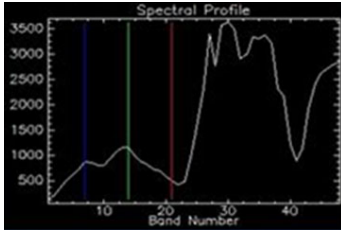


$$Reflectance = \frac{Target\ Radiance}{Panel\ Radiance \times Panel\ Reflectance}$$

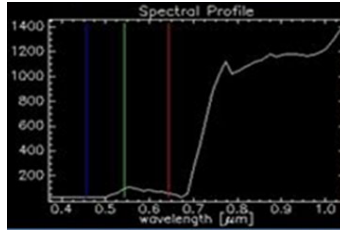
Reflectance image calculation



Radiance spectral information



Reflectance spectral information



Noise removal (smoothing)

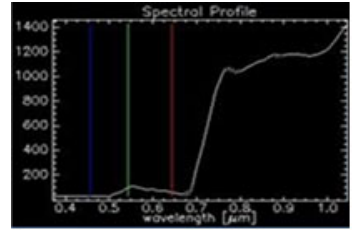


Fig. 7. Create reflectivity (X : Wavelength, Y : Reflectance).

Endmember Collection Spectra

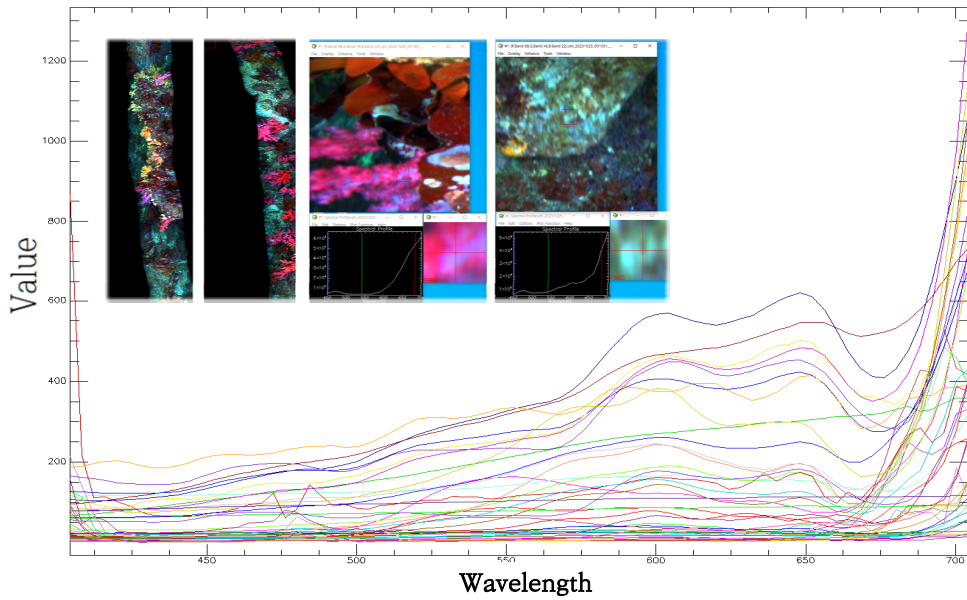


Fig. 8. Marine spectral library.

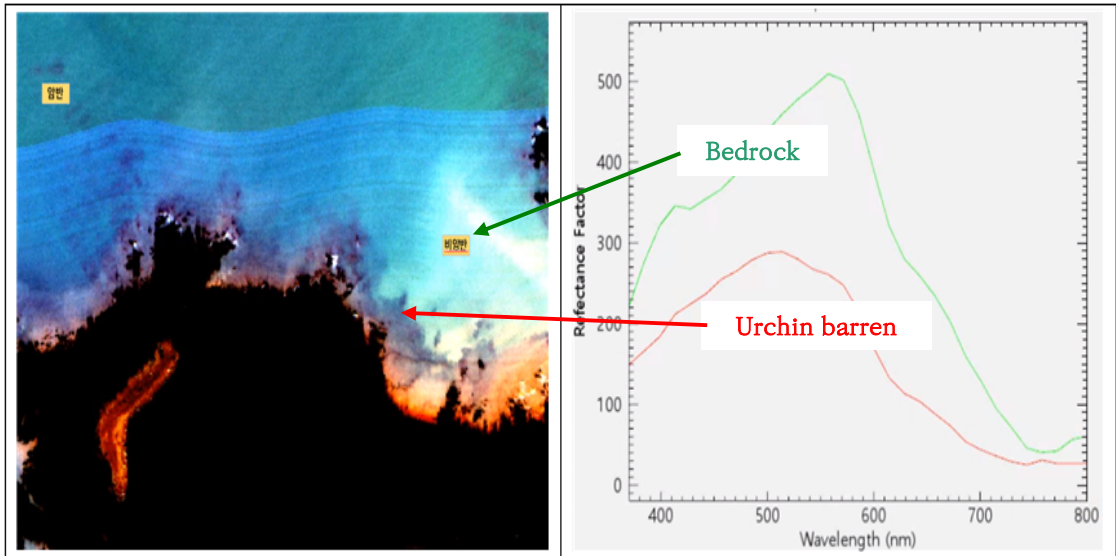


Fig. 9. Reference spectral reflectance defined through the collection of training samples.

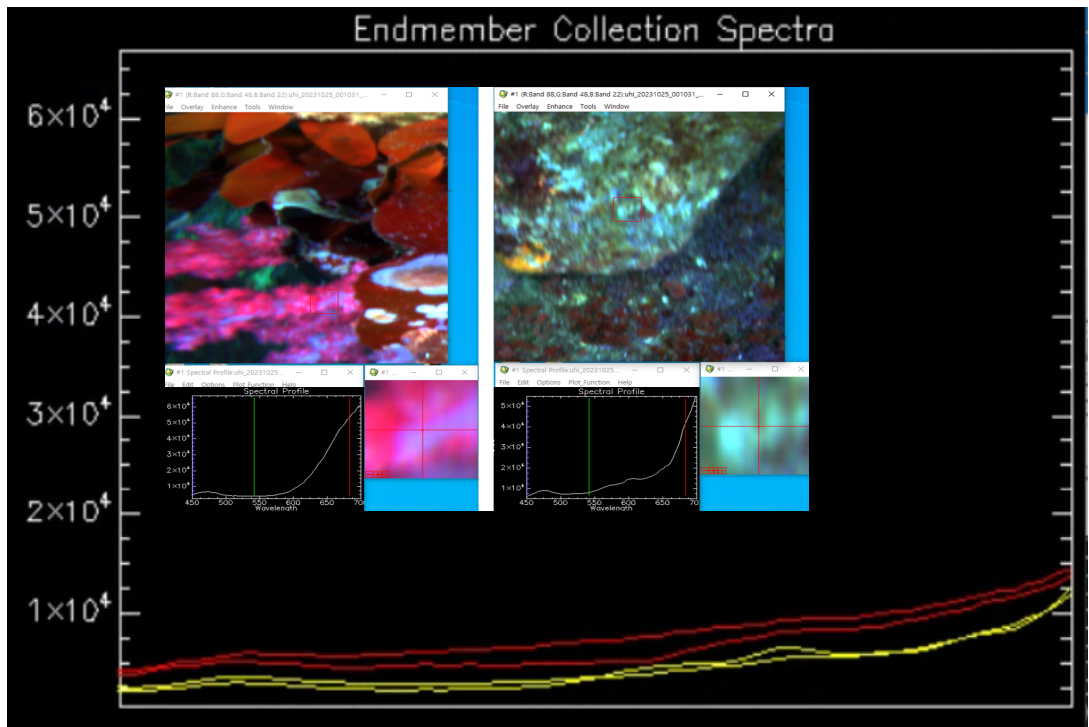


Fig. 10. Establishment of a spectral library for urchin barrens.

### 2.3.2. SAM 알고리즘을 이용한 암반 분류

훈련 샘플 탐지 알고리즘 방법은 분광반사율을 이용하는 알고리즘과 분광반사율과 형태학적 특성을 동시에 이용하는 알고리즘으로 구분할 수 있다. 분광반사율을 이용하는 알고리즘은 여러 기법 중 분광반사곡선과 각 화소의 분광반사율의 차를 이용하는 방법을 사용한다. 대표적인 방법 중 하나가 SAM 측정법이 있다. 여기서는 SAM 알고리즘을 이용하여 암반에 대한 분류를 진행하였다.

지상 분광 센서를 기준으로 영상의 각 화소가 어떤 것을 나타내는지를 구분하기 위하여 분류 알고리즘인 SAM을 적용하였다(Jensen, 2005). SAM은 이러한 변이와 오차로 인한 오류를 최소화하기 위하여 스펙트럼을 밴드 수 공간의 벡터로 가정된 후 벡터의 방향을 각으로 서로 비교하며, 각 화소가 추출하고자 하는 대상물을 더욱 명확하게 분류할 수 있는 이점이 있다(식 1). 또한, SAM은 대기보정된 픽셀을 이용해 이들과 참조 스펙트럼과 동일한  $n$ 차원에서 비교하는 것이 효과적이다. 단순히 2차원으로 생각한다면 물질  $t$ 가 참조 스펙트럼  $r$ 에 보다 더 유사한 스펙트럼을 가지고 있음을 나타낸다. 즉,  $r$ 과  $t$  사이의 라디안 각도가 더 작다는 것을 알 수 있다. SAM 결과는 라디안 각도를 임계값으로 두고 분류된 이미지를 생성한다. 임계각이 낮으면 훈련 스펙트럼과 매치되는 픽셀이 적을 수 있지만 각이 작은 만큼 훈련 스펙트럼과 더욱 잘 일치한다고 할 수 있다.

$$\alpha = \cos^{-1} \left( \frac{\sum_{i=1}^n t_i r_i}{\left( \sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \sqrt{\sum_{i=1}^n r_i^2} \right)^{\frac{1}{2}}} \right) \quad (\text{식 1})$$

식 1의  $r$ 은  $n$ 차원의 훈련데이터를 의미하고,  $t$ 는 초분광 영상 픽셀 측정 벡터, 그리고  $\alpha$ 는 임계각을 나타낸다.

연구에서는 기존 분광반사율과 SAM 알고리즘을 이용하여 보정이 완료된 초분광 영상으로 암반 분류를 수행하였다. SAM 알고리즘은 기존 분광반사율과 각 화소의 분광반사율의 각을 비교함으로써 최소 화소 각을 기준으로 분광반사율에 해당하는 등급으로 분류한다. 초기 분류 결과에는 영상의 잡음이나 다양한 환경적 변이

로 인해 오분류 화소가 존재하여, 이러한 부분을 조정하기 위하여 Majority 필터링을 적용하여 조정하였다. Majority 필터링은 영상처리나 데이터 분석에 사용되는 기법으로 주어진 영역 내의 값들을 분석한 뒤, 그 영역 내에서 가장 많이 나타나는 값(노이즈)을 선택하여 조정하는 방법이다. Fig. 11은 보정이 완료된 영상과 SAM 분류 결과이다.

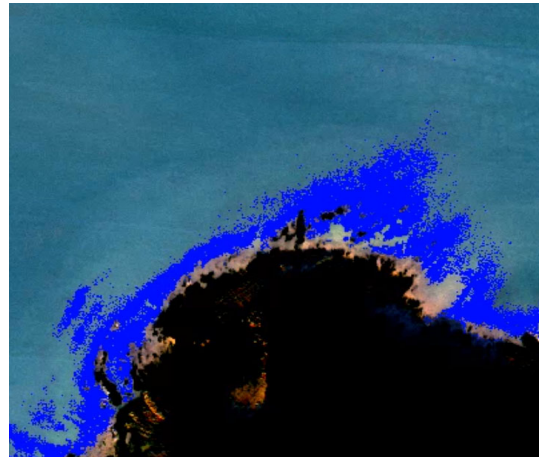


Fig. 11. Rock classification results using SAM.

### 2.3.3. 초분광 영상과 수심 자료를 통한 암반 분류 및 검증

SAM 알고리즘을 이용하여 자동으로 분류한 결과에 대한 정확한 암반 분류를 위해 다양한 참조자료를 이용하여 수정함으로써 신뢰도를 향상시킬 수 있다. Fig. 12에서는 벡터로 변환된 분류 결과 자료의 편집을 통해 오류를 수정하였으며, 수심 자료를 이용하여 암반의 경계를 보다 명확히 편집하는 과정을 거쳤다. 수심 자료에서 암반의 경우 주변에 비해 수심이 얇고, 불규칙한 형태를 나타내는 특징이 있기 때문에 주변의 모래와는 명확한 경계를 나타낸다. 따라서 벡터로 변환한 재질 분류 자료를 수심 자료와 중첩한 후 그 암반 분류 결과에 대한 오류와 경계를 수정하였다. 여기서, 대상별 벡터 변화 분류 자료는 수동 편집을 통해 나타난 오류를 수정하는 방법으로 진행하고, 전체 면적을 산출하였다. Fig. 13은 실험지역 중 암반에 대한 백화현상을 추출한 외연도를 나타내었으며, 피도율 분석을 통한 백화현상 판정기준에 의하여 분류하고자 한다.



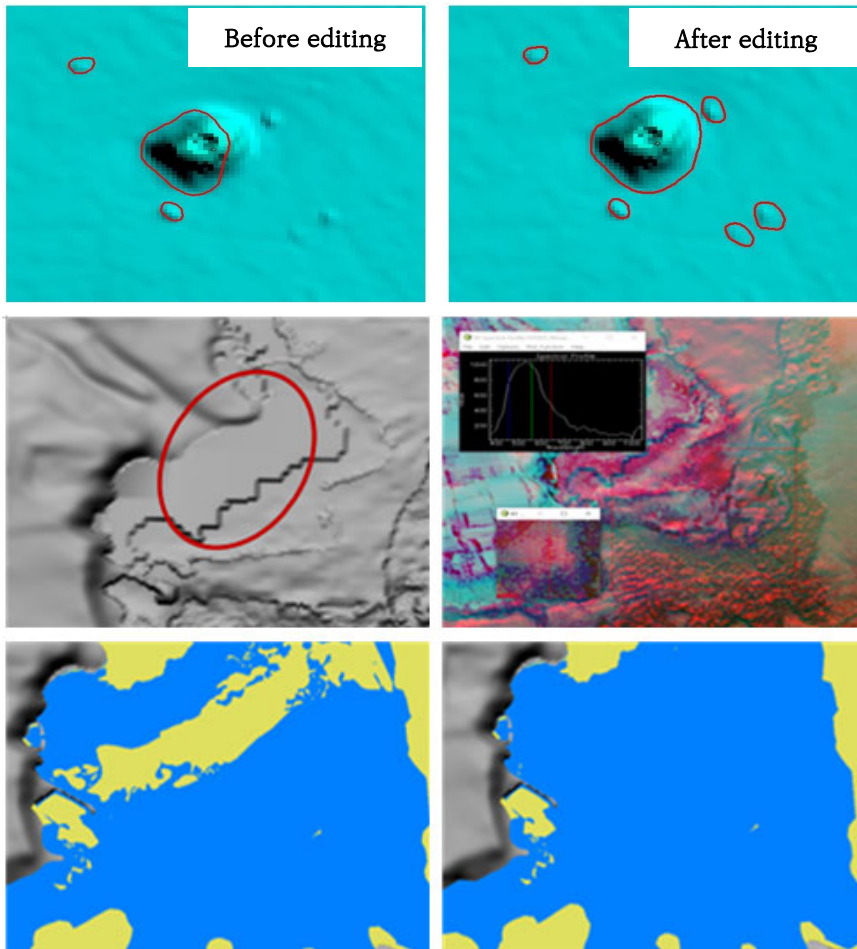


Fig. 12. Classification and correction of rock types through the fusion of hyperspectral imaging and bathymetric data.



Fig. 13. Extraction of urchin barrens in the west sea Island areas.

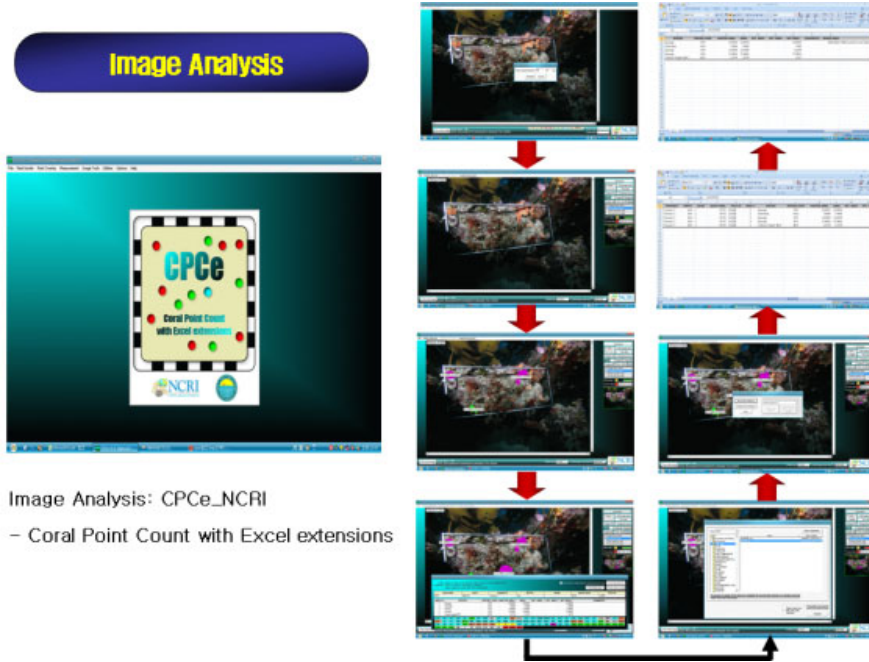


Image Analysis: CPCe\_NCRI  
 - Coral Point Count with Excel extensions

Fig. 14. Image analysis process through CPCe Software.

Table 2. Barren ground diagnosis and criterion (FIRA, 2016)

Status	Criteria	Deepening/sustaining factors
1st period (early)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 40 ~ 60% coverage of uncut lime algae</li> <li>• Seaweed coverage 60 ~ 80%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seaweed intake of foraging animals : 30 g/m<sup>2</sup>/day</li> <li>• Amount of animals for breakfast (sea urchin) : 5 ~ 12 animals/m<sup>2</sup></li> <li>• Seaweed                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduction of large brown algae and perennial seaweed</li> <li>- Increase in small red algae</li> </ul> </li> </ul>
2nd period (ongoing)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 60 ~ 80% coverage of uncut lime algae</li> <li>• Algae coverage 20 ~ 40%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seaweed intake of forage animals : 40 ~ 60 g/m<sup>2</sup>/day</li> <li>• Amount of animals for breakfast (sea urchin): 10 ~ 20 animals/m<sup>2</sup></li> <li>• Seaweed                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Signs of disappearance of large brown algae</li> <li>- Small perennial red algae habitat</li> </ul> </li> </ul>
3rd period (intensification)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• More than 80% of uncut lime algae coverage</li> <li>• Less than 20% algae coverage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seaweed intake of forage animals : 70 g/m<sup>2</sup>/day</li> <li>• Amount of animals for breakfast (sea urchin): 20 animals/m<sup>2</sup></li> <li>• Seaweed                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Loss of large brown algae</li> <li>- Small perennial red algae habitat</li> </ul> </li> </ul> <p>※ Excluding commercial resource use factor</p>

**Table 3.** Analysis results of overage and relative coverage

Test point (image)	Species	Coverage			Relative coverage(%)		
		Point 1	Point 2	Ave.	Point 1	Point 2	Ave.
Sapsido Island	Crustose	1.2	3.6	2.4	1.6	4.0	2.8
	Geniculate	47.6	49.3	48.5	52.9	51.8	52.4
	Seaweed	41.1	40.8	40.9	45.5	44.2	44.9
Hodo Island	Crustose	2.1	13.6	7.8	2.2	17.0	9.6
	Geniculate	21.8	10.6	16.2	32.2	32.3	32.2
	Seaweed	59.0	12.4	35.7	65.6	50.8	58.2
Eocheong do Island	Crustose	4.2	4.7	4.4	24.5	15.3	19.9
	Geniculate	0.4	10.0	5.2	2.9	23.0	13.0
	Seaweed	21.7	26.0	23.9	72.7	61.6	67.1
Oeyeondo Island 1	Crustose	3.5	6.9	5.2	5.0	9.4	7.2
	Geniculate	12.6	16.7	14.7	16.8	24.8	20.8
	Seaweed	56.4	47.1	51.8	78.2	65.8	72.0
Oeyeondo Island 2	Crustose	3.5	0.4	2.0	8.9	3.0	5.9
	Geniculate	11.9	16.7	14.3	16.4	30.7	23.5
	Seaweed	27.7	9.4	18.6	74.8	66.3	70.5
Nokdo Island	Crustose	6.6	9.8	8.2	24.7	12.3	18.5
	Geniculate	27.3	26.4	26.8	34.7	35.2	35.0
	Seaweed	29.1	42.4	35.7	40.6	52.5	46.6

### 2.4. 백화현상 판정기준

백화현상 판정기준은 명확한 사항은 없으며, 다양한 보고서 및 문헌을 참고하였다. 그중 수산자원관리공단의 동해안 해중립 조성 매뉴얼에 수록된 백화현상 진단 및 판정기준을 바탕으로 하였다. 이 기준에 의하면 초기(제1기), 진행(제2기), 심화(제3기)로 제시하고 있음을 알 수 있다(Table 2).

### 2.5 백화현상 피도율 분석

실험 대상지에 대한 해조류 분류군별 피도 분석을 수중 영상 분석에 의하여 실시된 자료를 사용하였다. 백화현상 판정기준(Table 2)에 따라 해조류의 분류군을 무절석회조류(crustose coralline algae), 유절석회조류(geniculate coralline algae), 일반해조류(seaweed)로 구분하고 피도 및 평균 상대피도를 조사하였다. 정상 단계일 일반해조류와 백화현상의 초기 진행 단계인 분홍색의 유절석회조류, 그리고 백화현상이 진행된 무절석회조류에 대하여 지점별 피도 값을

도출하도록 하였다.

피도분석은 영상자료에서 Image analysis method를 이용하였으며, 해조류 상대피도 자료를 이용하여 백화현상 진단을 위한 판정기준을 산출하였다. 취득된 영상자료는 Fig. 14와 같이 CPCe (coral point count with excel extensions)로 스캔하고 서식 해조류를 주요 분류군으로 나누어서 피도와 상대피도(%)를 나타내었다. CPCe는 지정된 대상에 대한 통계적 산호 피복도를 빠르고 효율적으로 계산하도록 설계된 프로그램이며, 길이, 면적 등 통계적 비교 분석이 가능한 특징이 있다.

영상분석을 통한 피도와 상대피도에 결과는 Table 3에 제시하였다. 조사 지점에 대한 피도 평균 값은 무절석회조류에서 5.0, 유절석회조류는 20.95, 일반해조류가 34.43으로 나타났다. 무절석회조류의 피도값은 일반해조류의 피도 값에 비하여 1/7정도 이상 낮게 나타났으며, 무·유절석회조류의 피도값 보다 일반해조류의 피도값이 다소 높게 나타났다. 이는 영상 취득시 바닥 암반에 퇴적물이 많이 쌓여 있어서 해조류는 출

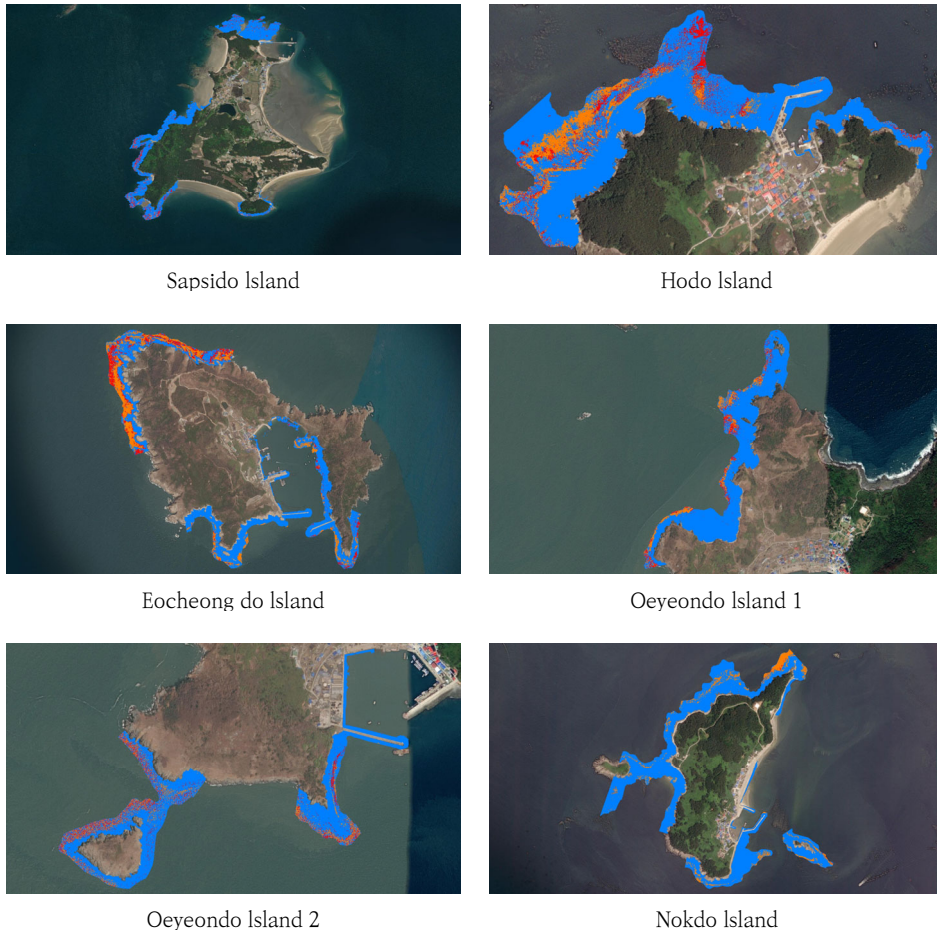


Fig. 15. Extraction results of rock and urchin barrens in the west sea Island areas.

현하지 않았으나 무절석회조류가 퇴적물에 가려 확인이 되지 않는 요인도 작용한 것으로 판단된다.

### 3. 백화현상 분류 결과 및 고찰

실험 지역에서 추출된 백화현상에 대하여 Table 2를 참고하여 정상, 진행, 심화별로 구분하고, 면적 산출을 위해 분류된 암반 및 백화현상 발생 지역에 대해 벡터 추출을 통하여 면적을 산정하였다(Fig. 15).

백화현상의 단계별 구분 기준은 암반 면적 대비 조류 피도율이 40% 미만으로 나타나는 것을 정상, 40 ~ 60%는 진행, 80% 이상이면 심화로 판단하였다.

분류 결과(Table 4) 서해 5개 도서 지역의 암반 총면

적은 약 1.676 km<sup>2</sup>로 나타났으며, 진행 및 심화의 비율이 약 7.3%로 나타났다. 실험 지역 중 삼시도와 외연도의 백화현상 정도가 4.3%, 4.1%로 가장 많이 발생하고 있었으며, 호도가 약 2%의 심화 비율이 나타남을 알 수 있었다.

기존 일부 지역에 대하여 실시되는 잠수조사에 의한 갯녹음 탐사를 대체하는 기술로서 항공 초분광영상을 이용한 기법을 제시하였다. 실험 대상지역에 대한 암반 분류를 위해 초분광영상과 3차원 지형자료를 이용하여 SAM 알고리즘을 적용하여 암반을 분류하였다. 그리고 영상분석을 통하여 피도 분석을 수행하고, 백화현상의 판정기준을 참고하여 정상, 진행, 심화의 단계로 분석해 보았다.



**Table 4.** Detection results of urchin barrens in the experimental area

Region	Investigation rock(km <sup>2</sup> )	Area(km <sup>2</sup> )			Ratio(%)		
		Normal	Progress	Deepening	Normal	Progress	Deepening
Sapsido Island	0.403	0.367	0.019	0.017	91.1	4.6	4.3
Hodo Island	0.264	0.252	0.007	0.005	95.4	2.6	2.0
Eocheong do Island	0.549	0.508	0.023	0.017	92.6	4.2	3.2
Oeyeondo Island 1	0.179	0.167	0.008	0.004	93.6	4.2	2.2
Oeyeondo Island 2	0.144	0.137	0.004	0.003	95.4	2.7	1.9
Nokdo Island	0.137	0.122	0.01	0.005	89.1	7.0	3.9
Sum	1.676	1.553	0.71	0.051	92.7	4.2	3.1

실험 지역뿐만 아니라, 우리나라 연안 해안의 경우 백화현상은 해마다 증가할 것으로 추측된다. 그 원인으로는 지속적인 우리나라 해역의 수온 증가로(NIFS, 2022) 인한 해조류 군집 변화에 영향으로 저수심대 백화현상의 원인으로 작용하고 석회조류가 증가하고 있다는 것이다. 또한 연안 지역의 많은 양식장에서 배출되는 오염류 등의 영향으로 저수심대에 서식하는 해조류의 생장에 영향을 미칠 것으로 사료된다. 특히 서해 연안은 광량, 부유물질 자연암반 부족 등으로 해조류 번식에 열악한 환경을 가지고 있으며, 이에 대한 다양한 대책 강구가 필요할 것이다.

#### 4. 결론

2000년대 들어 심각해지고 있는 연안해역의 백화현상 조사를 위한 방법으로 항공 초분광영상과 SAM 알고리즘을 이용하여 백화현상 분포 비율을 분석해 보았다. 대상 지역에 대한 백화현상 분류를 위하여 초분광 영상 자료를 이용하여 암반을 분류하고, 지상 및 해역분광기로 재질별 분광 라이브러리를 구축하였다. 그리고 암반 및 백화현상 라이브러리를 구축하여 백화현상 분포면적 등을 분석하였다.

실험 영상에 의한 피도 분석 결과 무절석회조류의 상대피도 평균값은 10.6%, 유절석회조류는 29.5%, 일반해조류는 59.9%로 나타났으며, 무·유절석회조류 보다 일반해조류의 피도율이 다소 높음을 알 수 있었다.

실험 대상 지역 5개 도서의 암반 면적은 약 1.67 km<sup>2</sup>이며, 백화현상의 심화 비율 평균이 약 3.1%로 나타났다. 이 중 삼시도 및 외연도의 심화 정도가 평균 대비 높게 분포됨을 알 수 있었다.

본 연구에서는 기존 잠수 조사에 의해 제한된 백화현상 탐사를 수행하는 것 보다 최신 항공 초분광 측량 기법을 이용할 경우 넓은 지역의 백화현상을 신속하게 탐지할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 연구를 바탕으로 연안해역에 대한 다양한 해조류 조사 등으로 활용한다면 수산자원 관리 및 모니터링의 방안으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 녹색복원 특성화대학원 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

#### REFERENCES

Hwang, S. I., Kim, D. K., Sung, B. J., Jun, S. K., Bae, J. I., Jeon, B. H., 2017, Effects of climate change on whitening event proliferation the coast of Jeju, Korean J. Environ. Ecol., 31(6), 529-536.

Choi, B. G., Na, Y. W., Kim, S. H., Lee, J. I., 2014, A Study on the improvement classification accuracy of land cover using the aerial hyperspectral image with PCA, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, 22(1), 81-88.

Kim, S. H., Yang, C. S., 2015, Current status of hyperspectral data processing techniques for monitoring coastal waters, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 18(1), 48-63.

Ga, C. O., Kim, D. S., Byun, Y. K., Kim, Y. I., 2004, A Comparison of classification techniques in hyperspectral image, Proceeding of 2004 fall

- conference Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 251-256.
- Kim, Y. S., 2021, Detection of ecosystem distribution plants using drone hyperspectral spectrum and spectral angle mapper, *Journal of Environmental Science International*, 30(1), 1-10.
- Park, M. H., 2009, A Study on feature selection and feature extraction for hyperspectral image classification using canonical correlation classifier, *Journal of Korean Society of Civil Engineering*, 29(3-D), 419-421.
- Choi, J. W., Byun, Y. K., Kim, Y. I., Yu, K. Y., 2006, Support vector machine classification of hyperspectral image using spectral similarity kernel, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, 14(4), 71-77.
- Lee, J. D., Bhang, K. J., Joo, Y. D., 2016, Atmospheric correction effectiveness analysis and land cover classification using airborne hyperspectral imagery, *Jour. of KoCon.a*, 16(7), 31-41.
- Park, H. L., Choi, J. W., 2017, Accuracy evaluation of supervised classification by using morphological attribute profiles and additional band of hyperspectral imagery, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, 25(1), 9-17.
- FIRA, 2016, Identification and countermeasures for green tide (Bak-Hwa) phenomenon enhanced restoration of Bak-Hwa by region, Korea Fisheries Resource Agency, <https://fira.or.kr> (accessed 5 May 2023).
- NIFS, 2022, Annual report for climate change trends in fisheries, Report, 38-40, Korea.
- 
- Professor. Yong-Suk Kim  
Department of Landscape Architecture, Don-A University  
[rosekys@dau.ac.kr](mailto:rosekys@dau.ac.kr)