

# 연안 해저 피복 분류를 위한 항공 초분광영상의 수심보정

## Water Column Correction of Airborne Hyperspectral Image for Benthic Cover Type Classification of Coastal Area

신정일\* · 조형갑\*\* · 김성학\*\*\* · 최임호\*\*\*\* · 정규귀\*\*\*\*\*

Jung Il Shin · Hyung Gab Cho · Sung Hak Kim · Im Ho Choi · Kyu Kui Jung

**요약** 연안 해저 피복 조사에 있어 원격탐사 자료를 이용함으로써 조사의 효율성을 높일 수 있다. 위성영상과 항공영상과 같은 광학 원격탐사자료는 수심의 영향으로 동일한 해저 피복조건에 대해 다른 반사도를 보인다. 이 연구에서는 CASI-1500 항공 초분광영상에 대한 수심보정을 통해 연안 해저 피복에 대한 조사 범위 및 정확도 향상이 가능한지 분석하였다. 연구지역은 강원도 강릉시 연안으로 갯녹음 현상으로 인해 해저 환경이 급격히 변화되고 있는 지역이다. 해저면이 모래인 지점을 대상으로 초분광영상에서 추출한 수체 반사율(water reflectance,  $R_w$ )과 수심 간의 회귀모델을 통해 밴드별 수심보정 계수를 추정하고, 이를 영상 전체에 적용하였다. 그 결과 수심보정 전 영상에서 수심 6-7m에 한정하여 판독이 가능하였지만 수심보정 후 수심 15m까지 판독이 가능해지고, 수심에 따른 반사율의 변이가 크게 감소하였다. 또한 수심보정을 통해 해저 재질 분류 정확도가 13%p 증가하였다.

**키워드** : CASI-1500, 초분광영상, 수심보정, 해저 피복 분류

**Abstract** Remote sensing data is used to increasing efficiency on benthic cover type survey. Satellite and aerial imagery has variance of reflectance by water column effect even if bottom is consisted with same cover type and condition. This study tried to analyze advances of surveying extent and accuracy through water column correction of CASI-1500 hyperspectral image. Study area is coast of Gangneung city, South Korea where benthic environment is rapidly changing with bleaching of coral reef. Water column correction coefficient was estimated using regression models between water reflectance ( $R_w$ ) and depth for sand bottom then the coefficients were applied to whole image. The results shows that expanded interpretable depth from 6-7m to 15m and decreased variation of reflectance by depth. Additionally, water column corrected reflectance image shows 13%p increased accuracy on benthic cover type classification.

**Keywords** : CASI-1500, Hyperspectral Image, Water Column Corrected Reflectance, Benthic Cover type Classification

### 1. 서론

연안 생태계에서 해조류는 일차 생산자로서 물질순환의 중심을 이루고 있을 뿐만 아니라, 어류 또는 무척추동물들을 포함한 다양한 생물의 서식공간으로서 이차생산력을 높이는 역할을 한다[6]. 연안은 지구표면 중 육지-해양 대기가 만나 활발한 상호작용을 하는 곳으로 개발로 인한 환경변화 그리고 기후변화로 인

한 영향을 크게 받고 있다[11]. 따라서 연안 생태계 모니터링의 필요성이 증가하고 있으며, 기초적인 모니터링 자료로 해저 피복 자료가 요구된다[12].

연안 해저 피복을 조사하기 위한 방법은 선박에 장착된 다양한 관측장비를 이용한 조사와 잠수조사에 의한 현장조사의 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. 잠수조사의 경우 가장 정확한 방법이지만 조사 범위와 시간 측면에서 비효율적이다. 선박에 의한 조사방법은

† This research was supported by the MOLIT(The Ministry of Land, Infrastructure and Transport), Korea, under the UPA(Urban Planning & Architecture) research support program supervised by the KAIA(Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement)" (13 Urban Planning & Architecture 02)

\* Jung Il Shin, Research of Technology, GEOSTORY Co. Ltd. jishin@geostory.co.kr (Corresponding Author)

\*\* Hyung Gab Cho, Research of Technology, GEOSTORY Co. Ltd. chohg0316@geostory.co.kr

\*\*\* Shung Hak Kim, Business Planning Team, GEOSTORY Co. Ltd. shkim@geostory.co.kr

\*\*\*\* Im Ho Choi, Korea Fisheries Resources Agency. redtird@fira.or.kr

\*\*\*\*\* Kyu Kui Jung, Korea Fisheries Resources Agency. kkjung@fira.or.kr

조사 범위와 시간 측면에서 잠수조사에 비해 효율성이 높다. 그러나 연안 생태계의 주축이 되는 수심이 얕은 연안은 선박의 접근이 제한적이므로 조사 가능 영역에 한계가 있다. 또한 일반적으로 잠수조사와 선박을 이용한 조사는 샘플링에 의한 조사 방법을 취하고 있어 연속적인 면단위 관측에 한계가 있다.

해양 모니터링에 주로 사용되는 해석위성영상은 1km 내외의 낮은 공간해상도로 인해 연안에 대한 활용이 제한적이다[15]. 최근 고해상도 위성영상, 항공 초분광영상과 같이 연안 조사에 적합한 공간해상도를 갖춘 원격탐사 자료들이 공급되고 있다. 고해상도 영상은 해양 생태계의 근간이 되는 해조류 또는 산호의 분포와 같은 연안 해저 환경을 조사하는데 효율적이다[7]. 그러나 물에 의한 빛의 흡수 특성으로 인해 동일한 해저 피복 및 조건이더라도 수심에 따라 영상에서 다른 반사도를 보인다[14]. 따라서 수심 보정을 통해 물에 의한 효과를 정규화 함으로써 보다 정확한 해저 피복 분석과 공간적 범위 확장이 가능하다.

이 연구에서는 초분광영상에 대한 수심보정을 통해 연안 해저 피복 조사 범위 및 정확도 향상이 가능한지 분석하고자 한다. 2장에서는 연구지역과 사용한 초분광영상 및 전처리, 3장에서는 수심보정 방법, 4장에서는 수심보정 결과, 5장에서는 수심보정 전·후 영상을 이용한 해저 피복 분류결과를 비교함으로써 조사 범위 및 정확도 향상 가능성을 분석하고자 한다.

## 2. 연구지역 및 자료

연구지역은 강원도 강릉시 영진항-사천진항-순긱해 수욕장에 이르는 수심 15m 미만의 연안해역으로 면적은 약 2km<sup>2</sup>이다. 이 해역은 남부 동해안에 비해 바다 사막화(갯녹음)가 심각하지 않지만 갯녹음 현상이 북상함에 따라 해저피복의 변화가 급격히 발생하고 있다. 한국수산자원관리공단에서는 2009년부터 강릉시 연안의 약 500ha에 바다숲을 조성하여 왔고, 이를 통해 연안 생태계 복원을 유도하고 있다. 따라서 강릉시를 포함한 동해 북부 연안의 해저피복에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다.

초분광영상은 좁은 밴드폭을 갖는 수십-수백 개의 연속적인 밴드로 구성된 영상으로 정의할 수 있다 [3,5,8]. 초분광영상은 10개 미만의 밴드를 갖는 다중분광영상에 비해 지표의 세밀한 분광반사특성을 매화소마다 관측할 수 있다는 장점을 갖는다[1,2]. 이러한 장점은 보다 다양한 지표물을 분류하거나 특정 인자를 정량적으로 분석하는데 유리하다. 이 연구에서

Table 1. Specification of used hyperspectral image

Sensor	CASI-1500
Date & time	2014.09.08. 14:52:52
Wavelength range (used for water column correction)	366.6nm-1048.5nm (402.6nm-682.8nm)
Number of band (used for water column correction)	96 (40)
Band width	7.2nm
Acquisition altitude	2000m
Spatial resolution	1.5m
Swath width	2250m



Figure 1. CASI-1500 hyperspectral image (RGB = 650nm 550nm 450nm)

사용한 초분광영상은 Table 1과 같이 CASI-1500 영상으로 2014년 9월에 촬영되었고, 촬영고도는 2000m, 공간해상도는 1.5m이다. 분광해상도는 366.6nm에서 1048.5nm 구간에서 7.2nm 폭의 96개 밴드로 촬영되었다. 96개 밴드 중 전처리 이후 수심보정 단계부터는 가시광선 영역에 해당하는 402.6nm-682.8nm (band 6-band 45)의 40개 밴드를 사용하였다. 그 이유는 자외선 영역에 해당하는 366.6nm-395.4nm (band 1-5)는 센서 잡음으로 인해 사용이 불가능하였고, 근적외선 영역에 해당하는 690.0nm-1048.5nm (band 46-96)은 수체에 의한 전자기 에너지 흡수로 인해 잡음의 비율이 높아 사용이 불가능하기 때문이다. Figure 1은 사용

한 초분광영상의 자연광 칼라조합(RGB=650nm 550nm 450nm)을 보여주고 있다.

초분광영상에 대한 전처리에는 복사보정, 대기보정, 기하보정의 과정으로 수행하였다. 복사보정은 원시영상에 센서 복사보정계수 및 시스템 정보를 적용하여 각 화소별로 센서에 도달한 복사휘도(at-sensor radiance)를 획득하는 과정이다. 대기보정은 복사휘도 영상에 태양-지표-센서의 기하정보, 대기모델 등을 적용하여 대기에 의한 영향을 제거함으로써 지표에서의 분광반사율(복사휘도/입사조도)을 획득하는 과정이다. 연안을 관측한 영상의 경우 대기를 거쳐 수면에 입사된 에너지(입사조도)가 일차적으로 수면에서 일부 반사되고, 수면을 투과한 에너지가 수체를 거쳐 해저면에서 반사되어 센서에 도달한다. 따라서 대기의 영향과 수면에서 반사된 에너지(복사휘도)를 모두 제거해야 수체와 해저의 반사율을 획득할 수 있다. 전처리 과정에서는 일반적인 복사전달모델(MODTRAN)을 이용하여 대기의 영향을 보정하였다. 수면의 반사율을 제거하는 과정은 3장 연구방법에서 보다 자세히 설명하였다. 기하보정은 GPS/IMU 자료와 지상기준점 측량 자료를 이용하여 분광반사율 영상에 지리 좌표를 등록하는 과정이다.

수심자료는 2014년 10월 CZMIL (Optech Inc., Canada) 항공수심라이더로부터 획득되었다. 촬영고도는 400m, 레이저 펄스의 점밀도는 1.5 point/m<sup>2</sup>이고, 격자화를 통해 공간해상도 1.5m의 수심자료를 획득하였다. CZMIL 항공수심라이더는 근적외선과 녹색광 두 개 파장의 레이저펄스가 해면과 해저면에서 후방산란되어 센서에 도달하는 시간차를 이용하여 수심을 산출한다.

### 3. 수심보정

#### 3.1 수체의 분광반사율 추정(수면 반사율 보정)

수체(해수)의 반사율( $R_W$ )은 아래 식 (1)과 같이 정의할 수 있고, 수심이 얇은 경우 해저에서 반사된 신호를 포함한다.

$$R_W = \frac{\pi L_W(\lambda)}{E_d(\lambda)} \quad (1)$$

여기에서  $L_W$ 는 수출복사휘도(water-leaving radiance),  $E_d$ 는 복사조도(downwelling irradiance)를 의미한다. 그러나 실제 원격탐사 센서에서 관측하는 복사휘도( $L_T$ : total radiance)는 수체, 수면, 대기에서 반사

되는 에너지를 모두 포함하고 있다. 이 연구에서는 전처리과정에서 대기보정을 통해 센서 도달 반사율( $R_T$ )을 획득하였고, 여기에는 수체와 수면의 반사율이 포함되어 있다. 수면의 반사율은 태양-수면-센서의 기하에 의해 변화하고, 수체의 반사율에 비해 높은 반사율을 갖고 있다. 따라서 센서에 도달한 에너지에 포함되어 있는 수면의 반사율은 해수 또는 해저면의 특성을 분석하는데 왜곡(또는 오차)을 발생시키는 요인이 된다. 따라서 해수 및 해저면을 분석하기 위해서 수면 반사율에 대한 보정은 필수적이다.

식 (2)는 센서 도달 반사율에서 수체의 반사율을 획득하기 위해 수면의 반사율을 보정하는 방법을 보여주고 있다. 이 방법은 근적외선에서 수체의 반사율이 0에 근접하므로 근적외선의 반사율은 수면에서 반사된 것으로 가정한다. 따라서 근적외선의 반사율을 이용한 각 파장의 수면 반사율을 추정하고 이에 대한 대기효과(레일리 반사율)를 추가적으로 제거함으로써 수체의 반사율을 획득할 수 있다.

$$R_W = R_T(\lambda_i) - Y(\lambda_i)R_T(\lambda_{IR}) - R_r(\lambda_i) \quad (2)$$

여기에서  $Y$ 는 Angstrom exponent[4],  $\lambda_i$ 는 가시광선 밴드,  $IR$ 은 근적외선 밴드,  $R_r$ 은 레일리 반사율을 의미한다. 이 보정과정은 해색 위성센서인 Coastal Zone Color Scanner (CZCS)와 Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)에서 사용하고 있다[4,14].

#### 3.2 수심보정

전자기 에너지는 식 (3)의 Beer의 법칙과 같이 수심에 따라 기하급수(지수)적으로 흡수된다.

$$L(z) = L(0)\exp(-Kz) \quad (3)$$

여기에서  $K$ 는 흡수(attenuation) 계수,  $z$ 는 수심을 의미한다. Lyzenga[9]는 식 (4)와 같이 수심 및 해저면 반사율(알베도)과 수체의 반사율이 같은 관계를 정의하였다.

$$R_W = (A_d - R_{\infty})\exp(-gz) + R_{\infty} \quad (4)$$

여기에서  $R_{\infty}$ 은 해저의 반사율이 영향을 미치지 않는 매우 깊은 수심에서 수체기둥(water column)의 반사율,  $A_d$ 는 해저면의 반사율(알베도),  $z$ 는 수심, 그리고  $g$ 는 빛의 산란흡수계수(diffuse attenuation coefficient)

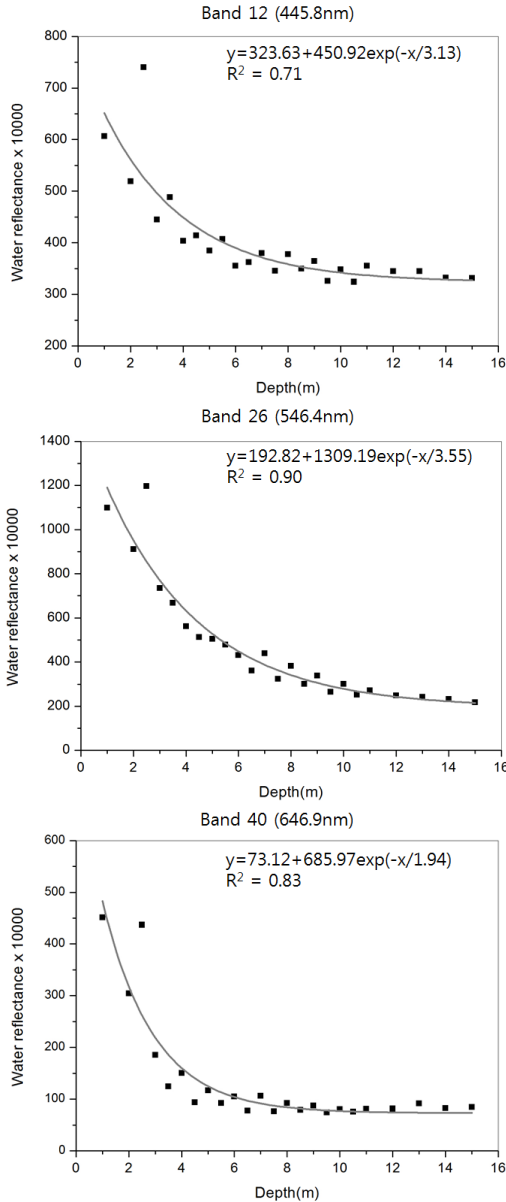


Figure 2. Regression models between water reflectance and depth of sand for three example bands

를 의미한다. 따라서 식 (4)를 이용하여 해저면의 반사율을 역으로 계산할 수 있다. 그러나 이 방법은 실제 연안 해역에 적용하는데 있어 몇 가지 한계를 갖는다. 첫째, 촬영한 영상에 해저의 반사율이 영향을 미치지 않는 매우 깊은 수심을 갖는 지점이 포함되어야 한다는 가정이 필요하다. 그러나 연안을 촬영한 영상에 이러한 지점이 포함되지 않을 수 있다. 둘째, 빛의 산란 흡수계수인  $g$ 는 남태평양과 같이 매우 깨끗한 대양의

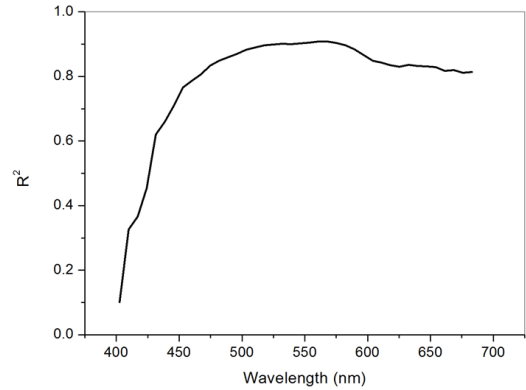


Figure 3.  $R^2$  of regression models between water reflectance and depth for each band

해수에서 실험을 통해 얻어진 값이므로 해석에 따른 오차가 존재한다. 따라서 이 연구에서와 같이 수심이 얇은 연안을 대상으로 영상을 획득한 경우 해저의 반사율을 획득하는데 한계가 있을 것으로 판단된다.

이 연구에서 수심보정은 수심에 관계없이 동일한 피복의 해저면이 동일한 반사율을 갖는다는 가정 하에 수심이 0m인 수면에서의 반사율로 보정하는 것으로 정의한다. 따라서 동일한 피복과 상태의 해저면에 대한 반사율을 다양한 수심에서 획득한 후 수심과 반사율의 회귀모델을 통해 파장별 흡수계수( $K$ )를 추정할 수 있고, 식 (3)을 역으로 식 (5)와 같이 변환함으로써 수면에서의 해저면의 반사율을 계산할 수 있다.

$$R_W(0) = R_W(z) / \exp(-Kz) \quad (5)$$

이 연구에서는 파장별 흡수계수( $K$ )를 추정하기 위하여 피복 내 변이가 적은 모래를 대상으로 수심 1m에서 15m의 24개 지점에 대한 수체의 반사율  $R_W(z)$ 을 CASI-1500 영상으로부터 획득하였다. 해저면이 모래인 지점은 수심자료에서 나타난 해저면의 거칠기와 영상의 밝기값을 기준으로 판단하였다. 그 후 Figure 2의 3개 밴드에 대한 예시와 같이 각 밴드에 대한 지수 분포 회귀모형을 통해 추정된 흡수계수를 식 (5)에 대입함으로써 해저면의 반사율을 수면에서의 반사율로 보정하였다. Figure 3은 수심과 수체 반사율 간의 밴드별 회귀모형에 대한  $R^2$  값을 보여주고 있다. 여기에서 청색광 영역에 해당하는 400-500nm 구간에서 파장이 짧을수록 상대적으로 낮은  $R^2$  값을 보인다. 이는 파장이 짧을수록 증가하는 수중 산란을 원인으로 들 수 있다[9].

#### 4. 수심보정 결과

위의 3장에서 설명한 수심보정 방법을 CASI-1500 영상에 적용한 결과 Figure 4는 좌측에 대기와 수면의 영향을 보정한 수체의 분광반사율 영상과 우측에 수심의 영향까지 보정한 영상을 보여주고 있다. 육안으로 보았을 때 수심보정 전에는 매우 얇은 범위(6-7m)에 한정하여 해저면을 볼 수 있지만 수심이 깊어짐에 따라 급격히 해저면이 어둡게 나타나는 것을 볼 수 있다. 수심의 영향까지 보정한 영상은 앞의 두 영상에 비해 상대적으로 깊은 수심(15m까지) 해저면의 형태와 밝기가 뚜렷하게 구분되는 것을 볼 수 있다.

Figure 5는 위에서 예시로 든 3개 밴드에 대한 수심보정 후 수심에 따른 분광반사율을 보여주고 있다. 수심보정 후 수심이 변화하여도 유사한 반사율을 보여

주고 있다.

Figure 6은 402.6nm-682.8nm 구간의 40개 밴드에 대한 모래 반사율의 변동계수(coefficient of variance)를 보여주고 있다. 변동계수(표준편차/평균)는 평균과 표준편차만으로 샘플의 분포를 설명하기 어려울 때 샘플의 분포를 설명하기 위한 계수로 0에 가까울수록 값의 변이가 작다는 것을 의미한다. 수심보정 후 변동계수가 크게 감소한 것을 볼 수 있으며, 이는 수심에 따른 반사율 변이가 크게 감소한 것으로 해석할 수 있다. 특히 수심보정 후에 장파장(적색광) 영역으로 갈수록 변동계수의 감소폭이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 수심보정 전에는 파장이 길어질수록 물에 의한 빛의 흡수가 증가함에 따라 센서에서 관측되는 신호의 강도가 약해지고, 상대적으로 잡음의 영향이 커지기 때문이다[10]. 그러나 수심보정을 통해 수

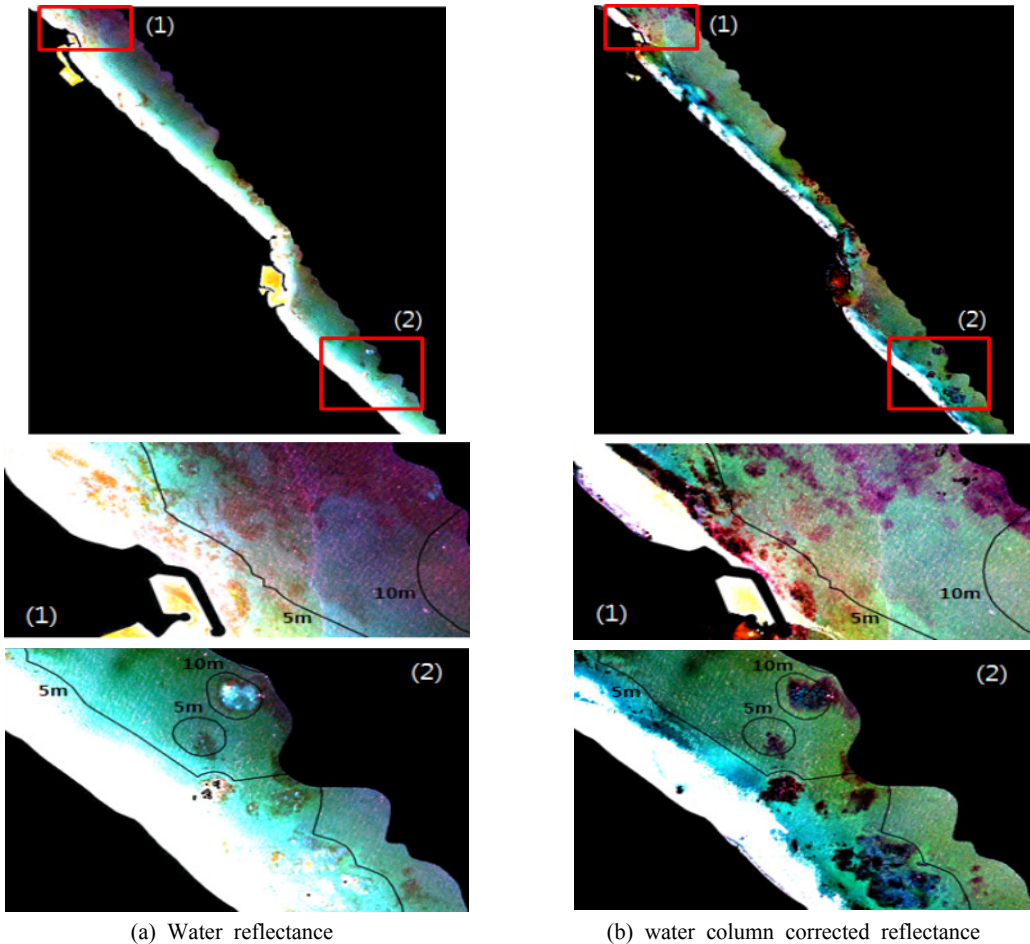


Figure 4. Variation of brightness by depth between water reflectance image and water column corrected water reflectance

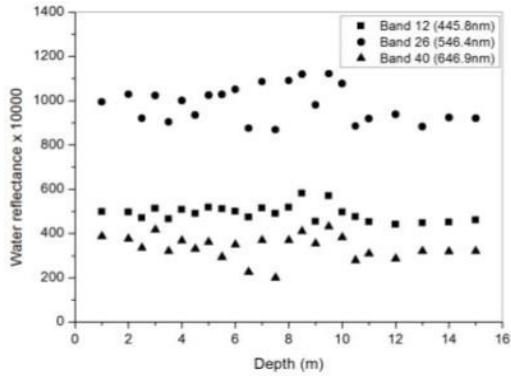


Figure 5. Water column corrected reflectance of sand regions for band 12, 26 and 40 as examples

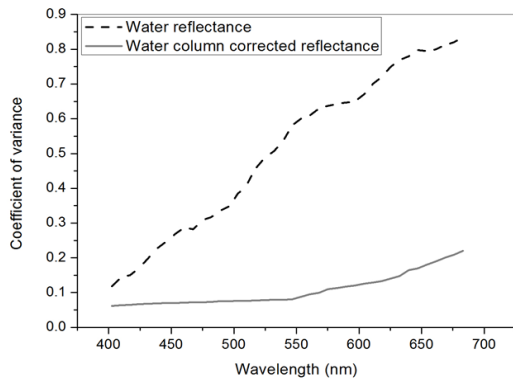


Figure 6. Coefficient of variance between water reflectance and water column corrected reflectance for used 40 bands

심에 의한 영향을 최소화함으로써 잡음의 영향이 상대적으로 감소한 것으로 판단된다.

## 5. 연안 해저 피복 분류

초분광영상의 수심보정에 따른 연안 해저 피복 분류의 정확도 및 분석가능 범위 향상을 평가하기 위하여 수심보정 전·후 영상의 동일 밴드를 이용하여 해저 피복을 분류하였고, 정확도를 비교하였다.

해저면의 피복등급은 총 4개로 밝은 모래, 어두운 모래, 해조류(암반), 백화 암반으로 정의하였다. 분류 알고리즘은 최대우도법(maximum likelihood)을 사용하였고, 훈련 샘플은 영상에서 총 4300개(밝은 모래 1100개, 어두운 모래 2200개, 해조류 700개, 백화 암반 300개) 화소를 육안판독으로 수집하여 사용하였다. 분류정확도 검증 샘플은 훈련 샘플과 다른 화소를 대

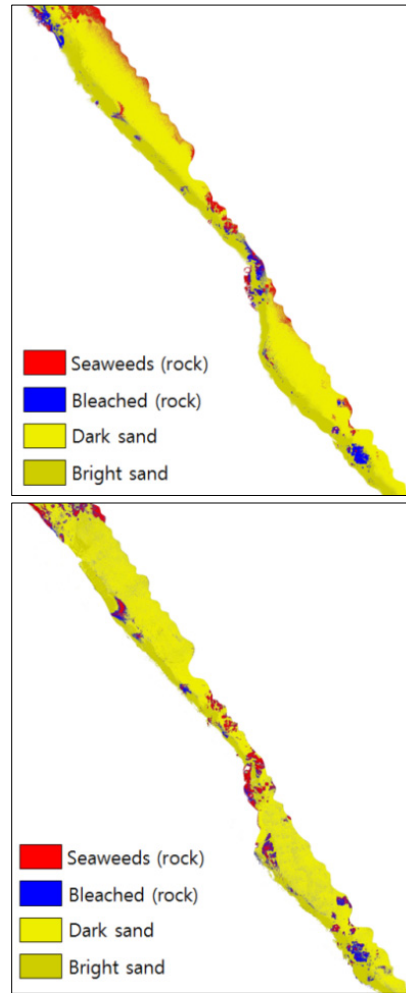


Figure 7. Benthic cover type classification results of water reflectance (top) and water column corrected reflectance (bottom) images

Table 2. Classification accuracies of water reflectance and water column corrected reflectance images

Class	Water reflectance	Water column corrected reflectance
Seaweeds (rock)	87%	96%
Bleached (rock)	89%	91%
Dark sand	75%	97%
Bright sand	96%	100%
Overall	84%	97%

상으로 총 1600개(밝은 모래 300개, 어두운 모래 800개, 해조류 350개, 백화 암반 150개) 화소를 수집하여 사용하였다.



수심보정 전·후 영상에 대한 해저 피복 분류 결과는 Figure 7과 같다. 육안으로 분류 결과를 확인하였을 때 수심보정 전 영상의 경우 수심이 깊은 해역(영상의 우측)에서 모래가 암반으로 분류되거나, 암반이 명확히 분류되지 않는 것을 볼 수 있다. 수심보정 후에는 수심에 의해 모래가 암반으로 분류되는 현상이 감소하였고, 해조류가 분포하는 암반과 백화현상이 발생하는 암반의 경계가 보다 명확히 나타나는 것을 볼 수 있다.

분류정확도는 Table 2와 같이 수심보정 전 84%, 수심보정 후 97%로 나타나, 수심보정을 실시하였을 때 13%p의 분류정확도 향상효과가 나타났다. 분류등급 별로 보면 어두운 모래와 해조류가 분포하고 있는 암반에서 각각 22%p와 9%p의 분류정확도 향상이 나타났다. 따라서 수심보정을 통해 연안 해저 피복을 분류할 수 있으며, 분석 가능 범위와 정확도를 향상시킬 수 있다.

## 6. 결 론

이 연구에서는 초분광영상을 연안 해저 피복조사에 활용하기 위해 수심보정을 실시하였고, 그 영향을 알아보기 위하여 수심보정 전·후의 해저 피복 분류 정확도를 비교하였다. 그 결과 수심보정 전에는 약 6-7m 정도의 비교적 얇은 수심까지 해저면에 대한 판독이 가능하였지만, 수심보정 후에는 약 15m의 상대적으로 깊은 수심까지 명확한 판독이 가능하였다. 변이가 적은 모래를 대상으로 한 수심에 따른 반사율의 변동계수(CV)는 수심보정 전에 0.1-0.8정도로 나타났지만, 수심보정 후 0.06-0.22로 나타났다. 따라서 수심보정 시 수심에 따른 해저면의 반사율 변이가 크게 감소한 것을 알 수 있었다. 수심보정 영상의 활용 가능성을 평가하기 위하여 수심보정 전·후 영상에 대한 해저면 피복분류를 실시한 결과 분류정확도가 84%에서 97%로 향상되었다. 또한 수심에 따라 반사율이 급격히 낮아짐에 따라 대부분의 화소가 해조류가 분포하는 암반으로 분류되는 현상이 사라지는 것을 볼 수 있었다. 따라서 연안 해저피복을 조사하기 위해 원격탐사자료를 이용할 때 수심보정을 통해 조사의 정확도와 조사 범위를 향상시킬 수 있다. 이 연구에서는 강릉시 연안 일부를 대상으로 실험을 실시하였지만, 한반도 연안은 해역에 따른 해수특성 변이가 크다는 점을 고려하였을 때, 향후 연구에서는 다양한 연안해역에 대한 수심보정의 가능성을 확인하는 연구가 필요하다. 또한 다중분광영상과 초분광영상의 분광해상도에 따른 해

저 피복 분류 정확도 비교와 관련된 연구가 필요하다.

## References

- [1] Cho, H. G; Kim, D. W; Shin, J. I. 2014, Study of Comparison of Classification Accuracy of Airborne Hyperspectral Image Land Cover Classification though Resolution Change, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, 22(3):155-160.
- [2] 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.
- [3] Goetz, A. F. H. 2009, Three Decades of Hyperspectral Remote Sensing of the Earth : a Personal View, Remote Sensing of Environment, 113(1): S5-S16.
- [4] Gordon, H. R; Clark, D. K; Brown, J. W; Brown, O. B; Evans, R. H; Broenkow, W. W. 1983, Phytoplankton Pigment Concentrations in the Middle Atlantic Bight: Comparison of Ship Determinations and CZCS Estimates, Applied Optics, 22(1):20-36.
- [5] Karaska, M. A; Huguenin, R. L; Beacham, J. L; Wang, M. H; Jensen, J. R; Kaufmann, R. S. 2004, AVIRIS Measurements of Chlorophyll, Suspended Minerals, Dissolved Organic Carbon, and Turbidity in the Neuse River, North Carolina, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 70(1):125-133.
- [6] Kim, D; Hwang, S; Choi, O; Choi, I; Han, M; Shin, Y. 2011, Effects of Climate Change on Barren Ground Proliferation in the Coast of Jeju, The Journal of Fisheries Resources management, 1(1): 1-17.
- [7] Kim, K; Eom, J; Choi, J; Ryu, J; Kim K. 2012, Application of Hydroacoustic System and Kompsat-2 Image to Estimate Distribution of Seagrass Beds, Journal of the Korean Society of Oceanography, 17(3):181-188.
- [8] Kim, S. H; Kim, T. H; Hong, C. H. 2010, A Study on Classification of Bed Rock Over Antarctic Terra Nova Bay using Hyperspectral Image, Journal of Korea Spatial Information Society,

18(5):55-61.

- [9] Lyzenga, D. R. 1978, Passive Remote Sensing Techniques for Mapping Water Depth and Bottom Features, *Applied Optics*, 17(3):379-383.
- [10] Martin, S. 2004, An Introduction to Ocean Remote Sensing, p. 116-121, Cambridge University Press, New York.
- [11] Moon, S; Lee, B; Byun, J. 2014, A Study on Coastal Area Variation Characteristics in Jeju Island, Incheon, Proc. of Conference on Geospatial Information, 211-214.
- [12] Oh, Y; Kim, B; Kim, H. 2005, The Need of Surveying Coast and Seabed Information in Korea, *The Journal of GIS Association of Korea*, 13(1):65-78.
- [13] Stumpf, R. P; Pennock, J. R. 1989, Calibration of a General Optical Equation for Remote Sensing of Suspended Sediments in a Moderately Turbid Estuary, *Journal of Geophysical Research Oceans*, 94(C10):14363-14371.
- [14] Stumpf, R. P; Holderied, K; Sinclair, M. 2003, Determination of Water Depth with High-resolution Satellite Imagery over Variable Bottom Types, *Limnology and Oceanography*, 48(1):547-556.
- [15] Yamano, H; Tamura, M. 2004, Detection Limits of Coral Reef Bleaching by Satellite Remote Sensing: Simulation and Data Analysis, *Remote Sensing of Environment*, 90(1):86-103.

---

Received : 2015.02.12

Revised : 2015.04.07

Accepted : 2015.04.16