

---

# EO-1 Hyperion 영상을 이용한 연안해역의 수심 추출

서동주\* · 김진수\*

Extraction of Water Depth in Coastal Area Using EO-1 Hyperion Imagery

Seo, Dong-Ju\* · Kim, Jin-Soo\*\*

## 요 약

최근 과학기술의 급속한 발달과 더불어 인간의 활동 영역이 넓어짐으로써 연안해역 개발과 환경 등의 문제가 전 세계적으로 대두되고 있으며, 보다 광범위한 분석을 위해 위성영상을 활용이 증대되고 있는 실정이다. 본 연구는 보다 효율적인 연안해역의 수심 결정에 있어 하이퍼스펙트럴 위성영상을 활용하는데 그 목적을 둔다. 이를 위해 먼저 EO-1 Hyperion 위성영상에서 연구대상지에 해당하는 부분영상을 추출하고, 대기보정과 기하보정을 실시하였다. 그리고 MNF 변환을 통해 밴드를 압축하고, 수체의 특성을 분석하는데 적합한 밴드를 선정하였다. 선정된 밴드 내에서 수심 산정을 위한 계수인  $K_d$ 를 결정하였으며, 순수한 분광 특성을 가진 화소의 endmember의 결정과 선형분광순수화 기법을 이용한 매핑을 통해 대상 연안의 수심을 최종적으로 결정하였다. 연구 결과, 산정된 수심은 수치해도상의 수심과 평균 1.2m 정도의 차이를 보였고, 산정하고자 하는 수심이 깊을수록 오차는 크게 나타났다. 향후 대기보정, endmember 결정,  $K_d$  산정 등의 정확도를 높인다면 보다 경제적이고 효율적인 수심 결정이 가능할 것으로 판단된다.

## ABSTRACT

With rapid development of science and technology and recent widening of mankind's range of activities, development of coastal waters and the environment have emerged as global issues. In relation to this, to allow more extensive analyses, the use of satellite images has been on the increase. This study aims at utilizing hyperspectral satellite images in determining the depth of coastal waters more efficiently. For this purpose, a partial image of the research subject was first extracted from an EO-1 Hyperion satellite image, and atmospheric and geometric corrections were made. Minimum noise fraction (MNF) transformation was then performed to compress the bands, and the band most suitable for analyzing the characteristics of the water body was selected. Within the chosen band, the diffuse attenuation coefficient  $K_d$  was determined. By deciding the end-member of pixels with pure spectral properties and conducting mapping based on the linear spectral unmixing method, the depth of water at the coastal area in question was ultimately determined. The research findings showed the calculated depth of water differed by an average of 1.2 m from that given on the digital sea map; the errors grew larger when the water to be measured was deeper. If accuracy in atmospheric correction, end-member determination, and  $K_d$  calculation is enhanced in the future, it will likely be possible to determine water depths more economically and efficiently.

## 키워드

Water Depth, Atmospheric Correction, MNF Transforms, Diffuse Attenuation Coefficient, Linear Spectral Unmixing

---

\* 부경대학교 공과대학 공학연구원

접수일자 : 2007. 11. 22

\*\* 부경대학교 공과대학 공학연구원 - 교신저자

## I. 서 론

오늘날 대부분의 수심측량은 바닥으로부터 반사되는 음파를 감지하여 선박 아래의 수심을 기록하는 능동적 수중음파탐지기를 이용하여 수행되고 있다. 그러나 선박은 수심이 얇은 만, 하구, 강으로는 접근이 어려우며, 이를 위해 원격탐사 기법을 활용한 수심 결정의 연구가 진행되고 있다. 1970년대 후반 원격탐사 기법을 이용하여 수심을 결정하기 위한 최초의 연구가 수행된 이후, 다중분광 영상을 활용한 연구가 수행되었으며[1], 수심과 바닥의 반사율이 연안해역의 확산 반사율에 미치는 영향에 대한 연구가 수행되었다[2]. 또한 2000년대에는 고해상도 위성 영상을 이용하여 다양한 바닥형상에 따른 수심의 변화를 산정하는 연구가 수행되었다[3].

위성영상을 이용한 연구들은 인식하고자 하는 물체가 하나의 화소보다 작은 크기를 가질 때, 낮은 공간해상도가 물체인식의 장애요인이 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 분광정보를 이용한 영상분석에 관한 연구가 수행되고 있다.

비교적 넓은 밴드폭을 가진 3~10개의 분광밴드에서 자료를 수집하는 대부분의 다중분광 자료와는 달리 하이퍼스펙트럴 센서는 400~2,500 nm 사이에서 10 nm의 폭을 가진 연속 또는 비연속적 밴드에서 자료를 수집한다. 따라서 하이퍼스펙트럴 영상은 대상 물질을 직접 식별하는데 충분한 분광해상력을 가진 분광정보를 제공할 수 있다.

1990년대 중반에 분광혼합기법을 적용하여 해저 산호초의 양을 구하는 연구가 수행되었으며[4]. 2000년대 초에는 서브픽셀 분석을 통한 수심 추출 연구에 하이퍼스펙트럴 영상을 활용한 연구의 필요성을 강조하였다 [5].

국내에서 하이퍼스펙트럴 영상을 활용한 연구는 지질매체 분류에 적용된 이후, 하이퍼스펙트럴 영상의 분류를 통하여 최적밴드를 추출하여 분류정확도를 평가하는 연구가 수행되었으며[6], Hyperion 센서 자료를 이용한 지형, 지물 추출에 관련한 연구도 수행된 바 있다 [7]. 최근에는 정준상관분석 이론을 이용한 최적밴드 선정과 유용성에 관한 연구와 Hyperion의 최적밴드 선택 방법을 통하여 토지피복지도 제작의 효율성을 증대하는 연구가 수행되었다[8, 9].

본 연구에서는 그림 1과 같이 선박의 접근이 어려운

연안해역을 대상으로 하이퍼스펙트럴 영상 내 각 화소의 정확한 반사도를 선형분광순수화(linear spectral unmixing)기법을 적용하여 획득하고, 획득된 반사도를 이용한 보다 효율적인 연안해역의 수심측량 기법을 제시하고자 한다.

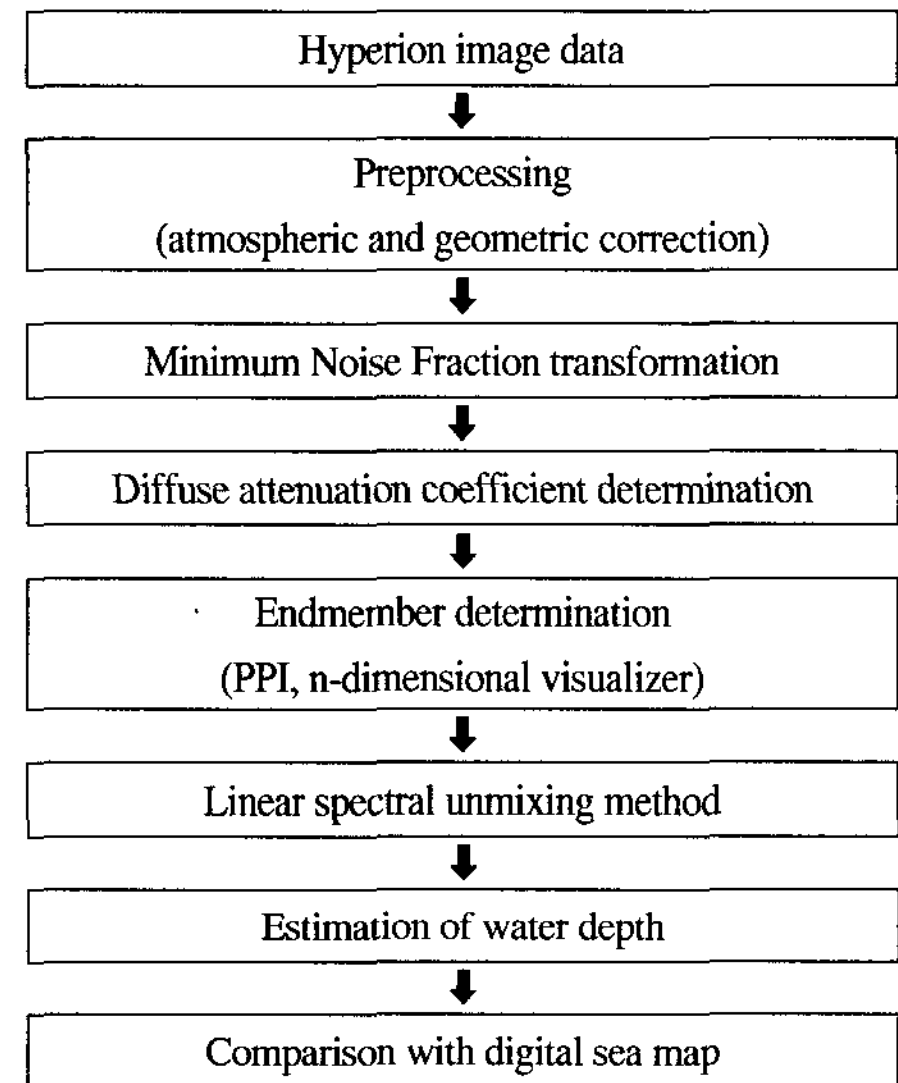


그림 1. 연구흐름도

Fig. 1. Flowchart of showing a process of study

## II. 하이퍼스펙트럴 원격탐사

하이퍼스펙트럴 센서는 전자기 스펙트럼의 자외선, 가시광선, 적외선 영역에서 10~20nm 사이의 좁은 밴드폭을 가지고, 인접하지만 겹치지 않는 수많은 분광밴드에서 동시에 영상을 수집한다. 수집된 영상의 분석을 통하여 영상 내의 각 화소에 대한 상세한 분광정보를 추출할 수 있다. 영상에서 추출한 분광정보는 광물질, 대기가스, 식생, 눈 및 얼음, 수체에 녹아 있는 용존 물질 등을 포함한 반사도 및 흡수 특성에 기초하여 센서의 순간시야 각 내의 구체적인 물질을 식별하는데 사용될 수 있다.

1970년대 초부터 시작된 하이퍼스펙트럴 원격탐사는 관련 기술의 미비와 다중분광영상으로부터 유도된 정보 분석의 어려움 등으로 하이퍼스펙트럴 센서에 대한 요구는 지질 분야나 군사학적인 분야에 국한되어 있었다. 이후 1976년에 NASA에서 스펙트럴 프로파일링

기기에 대한 제안을 수락함으로써 지구관측용 분광측정기의 개발이 시작되었으며, 1981년에 SMIR(Shuttle Multispectral Infrared Radiometer) 시스템이 셔틀의 두 번째 비행에 탑재되어 지구에 대한 분광측정이 시작되었다. 1990년대에 들어 식생의 분석에서 정밀한 분광정보가 요구됨으로써 하이퍼스펙트럴 원격탐사에 대한 관심도 다시 높아졌으며, 대용량의 자료처리나 저장능력과 같은 하드웨어적인 발전으로 이 분야에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.

### 2.1. Endmember 결정

모든 물체가 가지고 있는 파장대별 분광 값들 중 하나의 순수한 물체로 이루어진 화소의 분광 값을 정의한 것을 endmember라고 한다. 하이퍼스펙트럴 자료 수집 시 센서 시스템의 순간시야각에 들어오는 분광반사도는 다양한 endmember 물질에 의한 복사속의 함수이다. 따라서 endmember의 분광특성을 알 수 있다면, 구조물의 다양한 비율을 포함하는 화소들을 식별하는 것이 가능하다.

Endmember의 결정에는 크게 순수한 물체의 분광값을 측정하는 방법, 클러스터링을 이용한 방법, 영상 내에서 직접 참조분광클래스를 선정하는 방법이 있다. 이러한 결정방법들은 각각의 장·단점을 가지고 있으므로, endmember 선정 시 다양한 방법들을 골고루 응용하는 것이 바람직하다.

### 2.2. 화소순수도지수(PPI)

분광학적으로 가장 순수한 화소를 결정하기 위한 수학적 방법은 임의의 단위 벡터에 선명한 최소잡음비율 영상의 n차원 산점도를 반복적으로 투영시키는 것이다. 분광자료가 투영되는 때 순간마다 가장 극단적인 화소들이 기록되고, 영상 내에서 반복적으로 극단적인 화소로 구분되는 화소를 관찰함으로써 화소순수도지수(PPI; Pixel Purity Index) 영상을 만들 수 있다. PPI 영상에 있는 화소값이 높을수록 분광학적으로 극단적인 화소이다. PPI 영상은 그림 2와 같이 endmember 후보에 해당하는 가장 순수한 화소들의 위치를 간단하게 나타낼 수 있다. 그러나 PPI 영상은 2차원의 영상만을 보여주는 단점이 있으며, endmember 결정에는 주로 n차원 시각화 기법이 주로 사용된다.

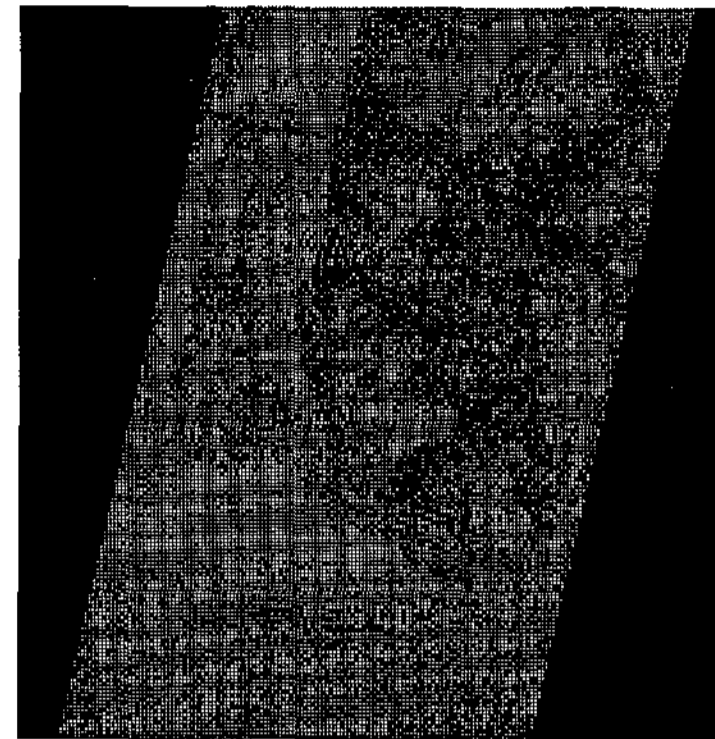


그림 2. PPI 영상 예  
Fig. 2. Example of PPI Image

2차원 PPI 영상에서 분광학적으로 가장 순수한 종점을 식별하기 위해서는 상대적으로 발견 빈도가 낮은 순수한 식생 화소가 n차원 피쳐공간에서 어디에 존재하는지 식별하는 작업이 필요하다. 2개 이상의 MNF(Minimum Noise Fraction) 밴드를 사용하여 n차원 분광공간에 있는 endmember를 서로 비교하고, 자료집단을 회전시키면서 n차원 공간에 있는 자료 집단의 모서리 위치를 설정한다. 가장 순수한 화소들은 자료 집단의 모서리 부분에 위치한다.

n차원에서 발견되는 endmember의 실제 분광반사도를 MNF나 표면 반사도 영상의 (x, y) 공간 안에 실제로 위치하고 있는 분광반사도와 비교하여 특정 형태의 endmember를 결정할 수 있다.

### 2.3. 선형분광순수화

센서에 저장되는 지상의 정보는 센서가 가지는 순간시야각 상에서 하나의 화소값으로 나타난다. 하나의 화소가 나타내는 지상의 면적이 클 경우 각 물체들의 반사되는 에너지는 선형적인 형태로 나타나게 된다. 이것을 역으로 계산하여 하나의 화소에서 각 물체들이 가지는 정보들을 추출해 내고자 하는 것이 선형분광순수화(Liner Spectral Unmixing) 기법이다.

임의의 파장대를 가진 영상에서 하나의 화소 내에 순수한 물체 1은 25%, 2는 30%, 3은 45%를 차지할 때, 한 화소를 이루게 되는 각 물체들에 대한 가중치는 물체 1은 0.25, 물체 2는 0.3, 물체 3은 0.45로 부여되며, 각 종점의 분광값에 대한 가중치를 곱한 최종적인 분광값이 하나의 화소로 기록될 수 있다. 이를 식으로 나타내면 식 (1)

과 같다.

$$P_i = \sum_{j=1}^k (R_{ij} \cdot F_j) + E_i \quad (1)$$

여기서,

$i$ : 1, ...,  $m$  (영상의 밴드의 수)

$j$ : 1, ...,  $k$  (endmember의 수)

$P_i$ :  $i$  분광밴드의 화소의 반사도

$R_{ij}$ :  $i$  분광밴드에서  $j$ 번째 endmember의 반사도

$F_j$ :  $j$  번째 endmember의 점유비율

$E_i$ : 오차

### III. 영상처리 및 수심 산정

본 연구에서는 낙동강 하구 일대의 연안지역을 대상 지역으로 선정하였으며, 연구에 사용된 자료는 2003년 12월 20일에 취득된 EO-1 Hyperion 영상이다. EO-1 위성의 궤도 경사각은  $98.1^\circ$ 이며, 약 705 km 상공에서 Landsat-7 위성과 동일한 궤도를 1분 간격으로 운용되고 있다. EO-1 Hyperion 영상의 제원은 표 1과 같다.

표 1. EO-1 Hyperion 영상의 제원  
Table 1. Characteristic of EO-1 Hyperion image

Date of Acquisition	2003. 12. 20
Site Latitude ( $^\circ$ )	35.1506
Site Longitude ( $^\circ$ )	128.9875
Altitude (km)	705
Swath Width (km)	7.5
Wavelength Range (nm)	430~2,400
Spectral Resolution (nm)	10
Spatial Resolution (m)	30
Number of Spectral Bands	242
Cloud Cover (%)	0~9

본 영상은 그림 3과 같이 256픽셀×3128픽셀×242밴드로 구성되어 있으며, 영상 중 을속도와 다대포 일대를 선정하여 연구를 수행하였다.



그림 3. 연구대상지역  
Fig. 3. Image view of test-field area

#### 3.1. 영상 전처리

하이퍼스펙트럴 영상은 센서와 지표 사이의 대기 특성을 파악하면서 조사된 지표 물질의 물리적, 화학적 요소에 대한 다량의 정보를 제공할 수 있다. 그러나 처리해야 할 자료의 양이 많고 S/N 비가 상대적으로 낮으며, 불필요한 대기 영향에 민감도가 높은 단점이 있기 때문에 영상 처리 과정은 일반 광학 영상의 처리 방식과 달리 대기 보정에 더 많은 주의가 필요하고, 대상체의 스펙트럼 특성을 이용하는 분류방법이 적용되며 이는 물리적, 생물학적 모델과 밀접한 관련이 있다.

대기보정은 지표로부터 출발한 복사에너지가 대기의 영향을 받아 감쇄된 것을 보정하는 것으로 하이퍼스펙트럴 영상에서는 반드시 이루어져야 하는 전처리 과정이다. 대기효과를 제거하기 위한 처리과정에는 교정(Calibration)과 대기보정이 동시에 이루어진다. 교정은 원시 방사도 값을 반사도 값으로 변환하는 것으로서 영상을 조정하고, 대기보정은 경로 길이와 대기 구성 성분의 영향을 감소시키기 위해서 각각의 화소와 파장에 대해 반사도 값을 조정한다. 본 연구에서는 대기보정 프로그램으로 FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes)를 사용하였다.

FLAASH는 수증기, 산소, 탄소, 메탄, 오존, 분자 및 에어로졸 산란을 보정하기 위해 MODTRAN 4+ 방사전달 코드 기법을 사용하여 영상의 각 화소에 대해 계산을 수행한다. 그림 4는 대기보정의 결과를 나타낸 것이며, 그

림 4(a)는 대기보정 전의 방사도  $L(\mu Wcm^{-2}nm^{-1}sr^{-1})$  이고, 그림 4(b)는 대기보정 후의 방사도를 나타낸 것이다. 대기보정 후에 수심정보의 획득에 사용되는 440~540nm 부근에서 방사도가 현저하게 개선된 것을 확인할 수 있다.

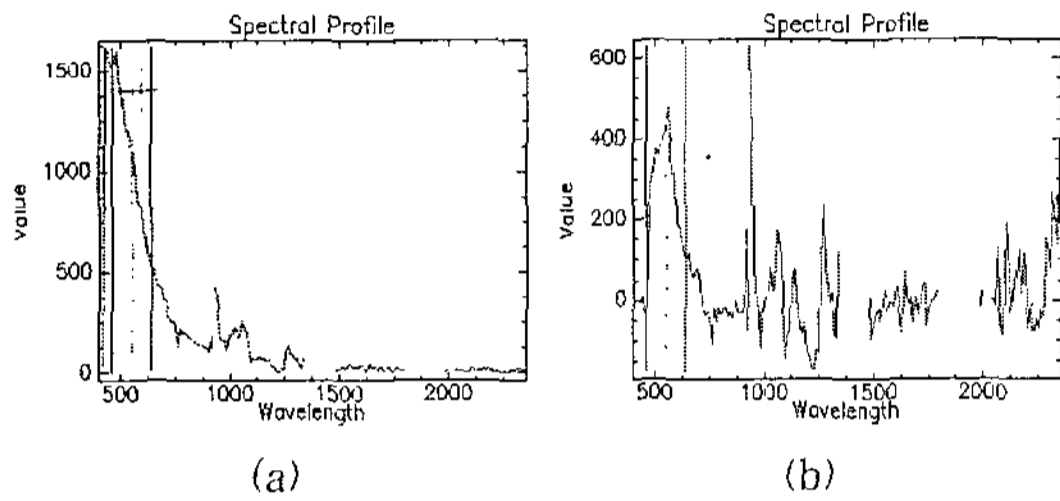


그림 4. 대기보정 전·후의 분광 특성

Fig. 4. Spectral profile before and after atmospheric correction

기하보정은 영상의 기하학적 왜곡을 보정하고, 절대 좌표로 변환시키는 작업이다. 기하보정의 방법에는 영상 대 영상, 영상 대 지도 방법이 있다. 본 연구에서는 1:5,000 수치지형도를 이용하여 기하보정을 실시하였다. 지상기준점은 영상 내에서 확인이 용이한 교량, 교차로, 구조물의 끝점을 선택하여 9개의 지상기준점을 선정하였다. 영상의 재배열은 밝기값의 변화가 없는 최근린 내삽법을 사용하였다. 기하보정 후의 RMSE는 0.4312로, 이는 신뢰할 수 있는 오차범위에 해당한다.

표 2. 기하보정 결과(RMSE)

Table 2. Result of geometric correction(RMSE)

Point	Image (x,y)		Map (x,y)		RMSE
1	81.94	1756.00	195438.08	175653.64	0.12
2	74.75	1657.08	195931.98	178626.73	0.55
3	58.93	1660.93	195417.81	178648.42	0.58
4	21.50	1663.55	194289.93	178795.10	0.27
5	51.90	1608.05	195575.19	180257.19	0.42
6	55.07	1486.36	196536.14	183871.01	0.45
7	42.89	1485.00	196168.78	183970.20	0.52
8	60.13	1328.93	197716.70	188580.76	0.51
9	95.71	1245.57	199273.67	190868.32	0.21

표 2는 기하보정에 사용된 GCP 좌표와 RMSE를 나타

낸 것이다.

### 3.2. Diffuse Attenuation Coefficient

수심을 산정하기 위해서는 해저 물질의 방사도를 알아야 한다. 영상에서 획득되는 방사도는 수체의 영향으로 인해 실제 방사도와 차이가 있기 때문에 이를 보정하기 위해 Diffuse Attenuation Coefficient ( $K_d$ )를 사용하였으며, 본 연구에 적용된 알고리즘은 식 (2)와 같다.

$$K_d(490) = K_w(490) + A \left[ \frac{L_w(490)}{L_w(555)} \right]^B \quad (2)$$

여기서,

$K_w(490)$ : 490nm에서 순수한 물의 K

$L_w(490), L_w(555)$ : 490, 555nm에서 물의 방사도

A, B: 선형회귀방정식으로 결정된 계수

그림 5는 A, B계수 결정에 사용된 선형회귀분석을 나타낸 그래프이고, 선형회귀분석 결과 A는 0.016, B는 -1.5401로 나타났다.

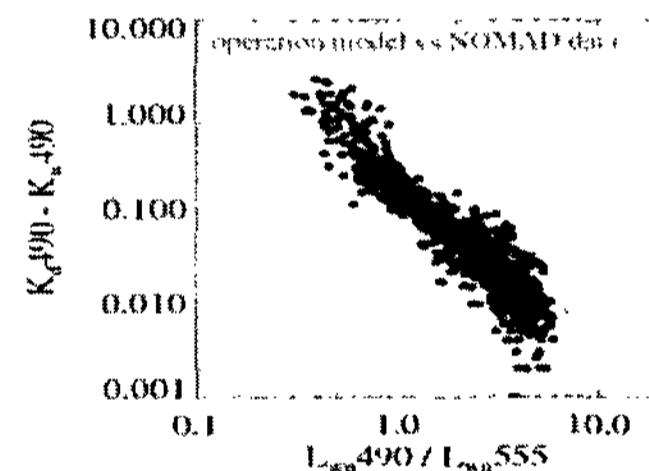


그림 5. 선형회귀분석 (Mueller, 2000)

Fig. 5. Linear regression analysis (Mueller, 2000)

표 3은 수심산정에 사용된 화소의 계수  $K_d$ 의 계산결과를 나타낸 것이다.

### 3.3. MNF 변환

MNF 변환은 하이퍼스펙트럴 영상자료 고유의 차원을 결정하고, 자료의 잡음을 분리하며 압축한다. 압축된 MNF 영상은 하이퍼스펙트럴 자료처리에 필요한 계산을 줄일 수 있다. MNF 변환은 크게 두 단계의 과정으로 나누어진다.

첫째, 잡음의 공분산행렬을 구하여 신호대 잡음비를 극대화하는 방식으로 고유벡터(Eigenvector)를 추출한



다. 이렇게 구해진 노이즈의 공분산행렬에서 노이즈를 필터링하여 제거하고, 다른 신호 값과의 상관관계를 저하시켜서 잡음이 골고루 분산된 영상 자료를 얻는다. 둘째, 주성분분석과 같은 방법으로 영상을 압축하여 노이즈가 없어진 영상을 얻게 되므로 보다 풍부하고 정확한 정보를 얻을 수 있다는 장점이 있다. MNF 변환 수행 후 고유영상에 포함된 고유값 그래프를 얻을 수 있다. MNF 밴드 번호가 증가함에 따라 포함하고 있는 정보량이 감소하므로, Coherence 값에 Threshold를 설정하여 불필요한 MNF 밴드를 제거하였다. 본 연구에서는 endmember 결정시 Coherence 값을 0.35로 주어 18개의 밴드를 선택하였다. 그림 6은 Eigenvalue와 Spatial Coherence Value를 나타낸 것이다.

표 3.  $K_d$  계산 결과Table 3. Result of calculating  $K_d$ 

Point	$K_d(m^{-1})$	Point	$K_d(m^{-1})$	Point	$K_d(m^{-1})$
1	0.2536	11	0.3991	21	0.3049
2	0.3408	12	0.3235	22	0.3143
3	0.3132	13	0.4621	23	0.3126
4	0.6547	14	0.4791	24	0.4034
5	0.2761	15	0.4195	25	0.3156
6	0.3247	16	0.3785	26	0.4393
7	0.3444	17	0.3574	27	0.5233
8	0.4004	18	0.5400	28	0.3397
9	0.3063	19	0.4103	29	0.3782
10	0.4655	20	0.3677	30	0.6641

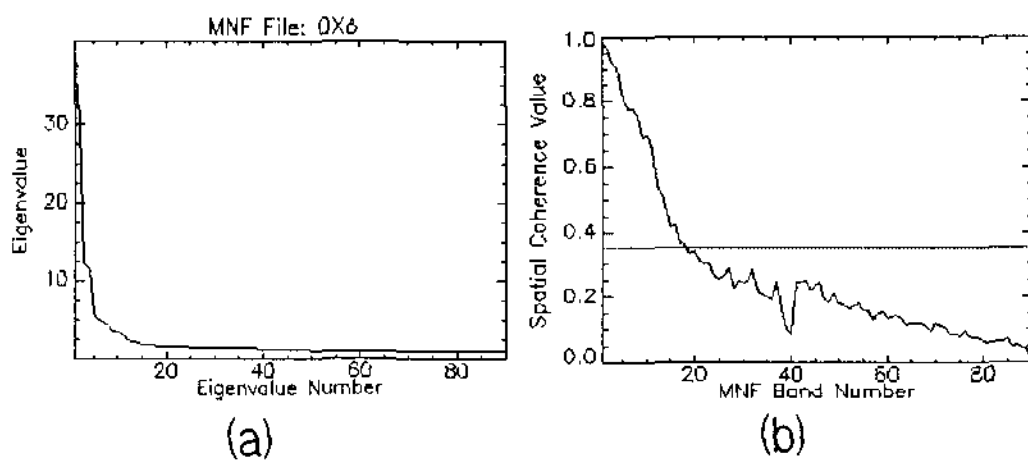


그림 6. MNF 변환에 따른 eigenvalue(a)와 spatial coherence 값(b)

Fig. 6. Eigenvalue(a) and spatial coherence value(b) as results of MNF Transformation

### 3.4. Endmember 결정

Endmember는 모든 물체가 가지고 있는 파장대별 분광 값들 중 하나의 순수한 물체로 이루어진 화소의 분광 값을 정의한 것이다. 하이퍼스펙트럴 자료 수집시 센서 시스템의 순간시야각에 들어오는 분광반사도는 다양한 endmember 물질에 의한 복사속의 함수이다. 따라서 endmember 물질의 분광특성을 알 수 있다면, 구조물의 다양한 비율을 포함하는 화소들을 식별하는 것이 가능하다. 본 연구에서는 하이퍼스펙트럴 영상에서 분광적으로 순수한 화소를 식별하기 위한 방법으로 PPI 매핑을 실시하였다. 분광적으로 순수한 화소에서 n차원 시각화를 사용하여 영상내에서 19개 Endmember를 결정하였다. 그림 8은 n차원 시각화와 이를 이용해 결정된 endmember의 반사도를 나타낸 것이다.

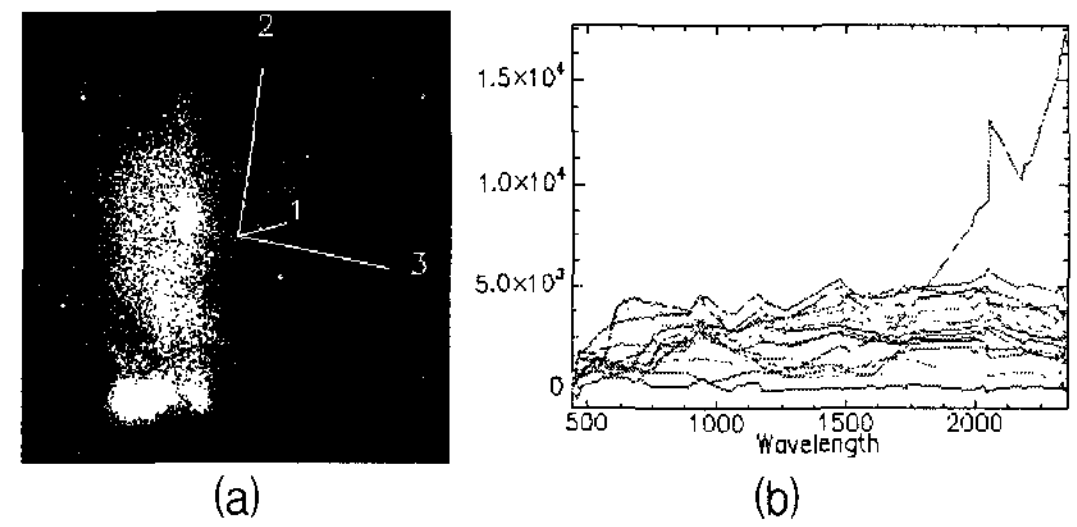


그림 7. n차원 시각화(a)와 결정된 endmember 스펙트럼(b)

Fig. 7. N-dimensional visualizer(a) and selected pixels spectrum curves(b)

### 3.5. 선형분광순수화 모델 적용 및 수심 추출

선형분광순수화(Linear Spectral Unmixing)의 결과는 사용된 endmember 마다 각 화소에 포함되는 endmember의 abundance 값의 차이를 나타내는 gray level 형태로 영상이 생성된다. 영상의 화소가 밝을수록 각 물체가 화소 내에서 차지하는 abundance가 많음을 나타내며, 어두울수록 endmember의 존재 가능성이 낮은 것을 의미한다. 또한 부가적으로 영상 전체에서 발생하는 endmember와 실제 영상간의 RMSE 영상이 생성된다. 이는 누락되거나 틀린 endmember 지역을 결정하는데 도움을 준다. 그림 8은 모델 적용 결과 생성된 영상과 RMSE 영상을 나타낸 것이다.

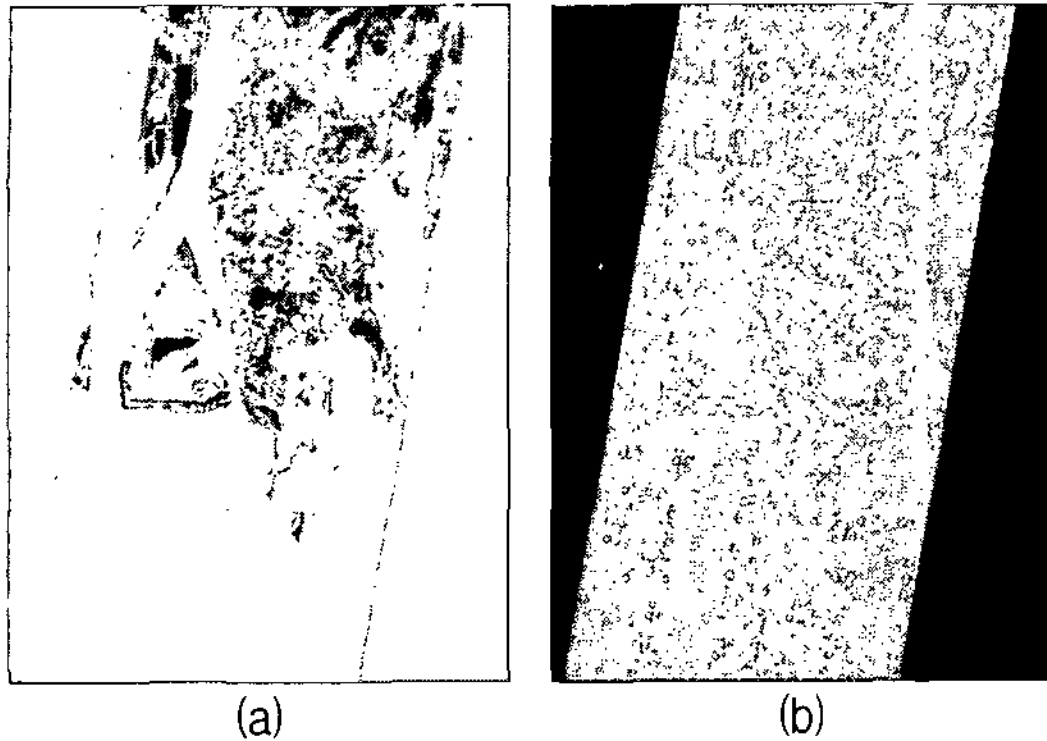


그림 8. 선형분광순수화 기법 적용 결과-생성된 영상(a)과 RMSE 영상(b)

Fig. 8. Result of linear spectral unmixing method -abundance image(a) and RMSE image(b)

본 연구에서는 이렇게 결정된 화소의 *endmember*의 반사도와  $K_d$ 값을 이용하여 식 (3)과 같이 2003년 Hedley 등이 제안한 수심 산정식을 적용하여 대상지역의 수심을 결정하였다.

$$z = a \cdot e^{-2k_d} \quad (3)$$

여기서,

$z$ : 수심

$a$ : *endmember*의 반사도

$K_d$ : Diffuse Attenuation Coefficient

표 4. 보정 전·후의 수심

Table 4. Water depth before and after correction

Point	보정 전	보정 후	Point	보정 전	보정 후
1	5.1	3.7	16	9.0	7.6
2	5.5	4.1	17	10.5	9.1
3	5.1	3.7	18	14.6	13.2
4	4.6	3.2	19	11.5	10.1
5	5.3	3.9	20	12.7	11.3
6	4.7	3.3	21	13.8	12.4
7	8.0	6.7	22	14.7	13.3
8	6.0	4.6	23	16.4	15.1
9	6.8	5.4	24	18.7	17.3
10	6.9	5.5	25	15.2	13.8
11	6.9	5.5	26	17.2	15.9
12	7.4	6.1	27	21.2	19.8
13	8.3	6.9	28	18.9	17.5
14	9.7	8.4	29	17.9	16.5
15	6.9	5.5	30	23.3	21.9

산정된 수심은 검조기록부를 참고하여 조석차에 의한 오차를 보정하였으며, 표 4는 보정 전후의 결과를 나타낸 것이다.

#### IV. 결과분석 및 고찰

본 연구에서는 산정된 수심을 축척 1:50,000의 수치해도와 비교·분석하였다. 수치해도는 2004년에 최종 수정된 것이며, WGS-84 좌표계를 사용한다. 수치해도 작성 시 측심 정확도는 개정 수심의 정확도를 의미하며, 측심의 정확도를 규정하기 위하여 최종 개정 수심 생성과정에 포함된 개별 오차를 정량화할 필요가 있다. 개별 오차들이 상호 결합되어 최종적인 총 확산오차(TPE, Total Propagated Error)를 구성하게 된다. 국제수로기구에서는 해역의 항해 중요도에 따라 측량성과의 정확도 정도를 4등급으로 나누고 이에 따른 적절한 정확도 기준을 제시하고 있다. 정확도의 기준은 등급에 따른 상수항과 대상 해역의 평균 수심에 따른 변수로 이루어져 있다.

표 5. 수치해도와와의 비교 결과

Table 5. Result of comparison with digital sea map

Point	추출값	해도값	차이	Point	추출값	해도값	차이
1	3.7	3.1	0.6	16	7.6	9.5	-1.9
2	4.1	3.3	0.8	17	9.1	9.9	-0.8
3	3.7	3.6	0.1	18	13.2	10.4	2.8
4	3.2	3.7	-0.5	19	10.1	11.4	-1.3
5	3.9	4.4	-0.5	20	11.3	11.5	-0.2
6	3.3	4.5	-1.2	21	12.4	11.9	0.5
7	6.7	4.5	2.2	22	13.3	12.3	1.0
8	4.6	5.1	-0.5	23	15.1	12.5	2.6
9	5.4	5.6	-0.2	24	17.3	14.5	2.8
10	5.5	5.6	-0.1	25	13.8	14.9	-1.1
11	5.5	6.1	-0.6	26	15.9	17.4	-1.5
12	6.1	6.3	-0.2	27	19.8	18.6	1.2
13	6.9	8.5	-1.6	28	17.5	19.5	-2.0
14	8.4	8.8	-0.4	29	16.5	19.7	-3.2
15	5.5	8.8	-3.3	30	21.9	19.9	2.0

수치해도 작성 시 수심의 오차는 약 1m 이내이어야 하지만, 본 연구에서 산정된 수심을 수치해도와 비교한 결과 표 5와 같이 허용오차를 초과하는 지역도 나타났다. 이렇게 발생된 오차의 원인으로서는 센서 자체에서 발생된 오차, *endmember* 결정 시 주관적 판단의 개입, 연구

대상지역의 수체의 탁도에 따른  $K_d$  값 오차, 수치해도와 위성영상 취득 일시로 차이에 따른 조석차 등으로 판단된다.

## V. 결 론

본 연구에서는 선박의 접근이 어려운 연안해역을 대상으로 하이퍼스펙트럴 영상 내 각 화소의 정확한 반사도를 선형분광순수화(linear spectral unmixing) 기법을 적용하여 획득하고, 획득된 반사도를 이용한 보다 효율적인 연안해역의 수심측량 기법을 제시하였다. 이를 위해 부화소(subpixel) 인식 기법인 선형분광순수화 기법을 적용하였으며, 각 대상화소의 Diffuse Attenuation Coefficient를 계산하여 수심을 산정하였다. 그 결과, 산정된 수심은 수치해도상의 수심과 평균 1.2m 정도의 차이를 보였으며, 산정하고자 하는 수심이 깊을수록 오차는 크게 나타났다. 오차의 원인은 센서자체의 오차, endmember의 주관적 결정, 조석차 등에 기인한 것으로 판단된다.

또한 MODIS  $K_d(490)$  알고리즘을 이용하여 영상에서 획득한 Diffuse Attenuation Coefficient는 순수한 물의  $K_d$  값인  $0.016m^{-1}$ 에 비해 비교적 높은 0.2~0.6 사이의 값으로 나타났다. 이는 대상지역의 수체의 탁도에 따른 흡수 및 산란이 많이 발생하고, 클로로필의 농도가 높기 때문인 것으로 판단된다.

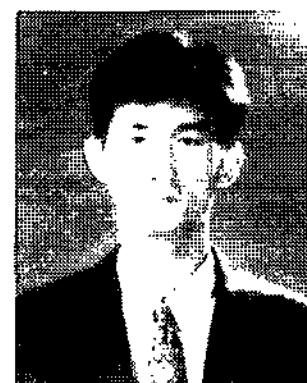
향후 대기보정, endmember 결정,  $K_d$  산정 등의 정확도를 높인다면 보다 정확한 수심 산정이 가능할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] Philpot, W.D., Bathymetric mapping with passive multi-spectral imagery, Applied Optics, Vol.28, Issue 8, pp.1569-1578, 1989.
- [2] Maritorena, S., Morel, A., and Gentili, B., Diffuse reflectance of oceanic shallow waters: Influence of water depth and bottom albedo, Limnol. Oceanogr., Vol.39, No.7, pp.1689-1703, 1994.
- [3] Stumpf, R.P., Holderied K., and Sinclair, M., Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types, Limnol. Oceanogr., Vol.48, No.1, pp.547-556, 2003.
- [4] Peddle, D.R, LeDrew, E.F., and Holden, H.M., Spectral mixture analysis of coral reef abundance from satellite imagery and in situ ocean spectra, Savusavu Bay, Fiji, Proc., Third Thematic Conference on Remote Sensing of Marine and Coastal Environments, Seattle WA, Vol.2, pp.563 -575, 1995.
- [5] Hedley, J.D., and Mumby, P.J., A remote sensing method for resolving depth and subpixel composition of aquatic benthos, Limnol. Oceanogr., Vol.48, No.1, pp.480-488, 2003.
- [6] 한동엽, 조영욱, 김용일, 이용웅, Hyperion 영상의 분류를 위한 밴드 추출, Korean Journal of remote sensing, Vol.19, No.2, pp.171-179, 2003.
- [7] 서병준, 강명호, 이용웅, 김용일, Hyperion 센서 데이터를 이용한 지형지물 추출, 한국지형공간정보학회 공동춘계학술대회, pp.182-186, 2003.
- [8] 박민호, 하이퍼스펙트럴영상 분류에서 정준상관분류 기법의 유용성, 대한토목학회논문집, 제26권, 제5D호, pp.885-894, 2006.
- [9] 장세진, 채옥삼, 이호남, 김진광, 토지피복지도 제작을 위한 초분광 영상 EO-1 Hyperion의 최적밴드 선택기법 연구, 한국측량학회지, 제24권, 제3호, pp.289-297, 2006.

## 저자소개

### 서 동 주(Dong-Ju Seo)



2003년2월 부경대학교 대학원 토목공학과 공학박사  
2004년3월-2007년 현재 부경대학교 공과대학 공학연구원

※관심분야: 사진측량학, 원격탐사, GIS, GPS

### 김 진 수(Jin-Soo Kim)



2007년2월 부경대학교 대학원 토목공학과 공학박사  
2007년3월-2007년 현재 부경대학교 공과대학 공학연구원

※관심분야: 사진측량학, 원격탐사, GIS, GPS