

## 초분광 위성영상을 이용한 수심 산정에 관한 연구

유영화\*, 김윤수\*\*, 이선구\*\*\*

### A Study on Estimation of Water Depth Using Hyperspectral Satellite Imagery

Yeong-Hwa Yu\*, Youn-Soo Kim\*\*, Sun-Gu Lee\*\*\*

#### Abstract

Purpose of this research is estimation of water depth by hyperspectral remote sensing in area that access of ship is difficult. This research used EO-1 Hyperion satellite imagery. Atmospheric and geometric correction is executed. Compress of band used MNF transforms. Diffuse Attenuation Coefficient of target area is decided in imagery for water depth estimation. Determination of Emdmember in pixel is using Linear Spectral Unmixing techniques. Water depth estimated using this result.

#### 초 록

본 연구에서는 초분광 원격탐사 기법을 이용하여 선박의 접근이 어려운 연안지역의 수심을 산정하고자 한다. 연구에 사용된 영상은 초분광 위성영상인 EO-1 Hyperion 영상이며, 대기보정 및 기하보정을 실시하였다. 보정된 영상은 MNF 변환을 사용하여 밴드를 압축하였다. 또한 각 화소의 실제적인 수심을 산정하기 위하여 대상지역의 Diffuse Attenuation Coefficient를 영상내에서 결정하였다. 그리고 Linear Spectral Unmixing 기법을 사용하여 대상 화소의 Emdmember를 결정하고, 수심을 산정하였다.

키워드 : 초분광 위성영상(hyperspectral satellite imagery), Emdmember

#### 1. 서 론

현재 대부분의 수심측량은 바닥으로부터 반사되는 음파를 감지하여 선박 아래의 수심을 기록하는 능동적 수중음파탐지기를 이용하여 수행되고 있다. 그러나 선박은 수심이 얕은 만, 하구,

강으로는 접근이 어려우므로 원격탐사를 이용한 수심측량 연구가 진행되고 있다. 원격탐사란 비접촉 센서 시스템으로부터 추출된 에너지 패턴의 디지털 표현과 영상을 기록, 측정, 해석하는 과정을 통해 물리적인 개체와 환경에 대한 신뢰성 높은 정보를 얻는 예술이자 과학기술이다. 원격탐사는 물리적인 개체에 대한 정보를 획득하기

접수일(2007년 12월 14일), 수정일(1차 : 2008년 6월 5일, 2차 : 2008년 6월 17일, 개재확정일 : 2008년 7월 1일)

\* 위성정보활용팀/yhyu@kari.re.kr

\*\* 위성정보활용팀/younsoo@kari.re.kr

\*\*\* 위성정보활용팀/leesg@kari.re.kr

위해서 주로 영상의 분광정보와 공간정보를 이용한다. 영상이 충분한 공간해상도를 가지더라도 주변 물체와의 분광반응 사이에 뚜렷한 차이가 없다면 식별이 힘들다. 따라서 분광정보를 이용한 영상분석이 필요하다.

지표면을 이루고 있는 대부분의 물질들은 10~20nm 폭의 진단흡수특징(Diagnostic Absorption Feature)을 가지고 있다. 비교적 넓은 밴드폭을 가진 3~10개의 분광밴드에서 자료를 수집하는 대부분의 다중분광 원격탐사 자료와는 달리 초분광 센서는 400~2500nm 사이에서 10nm의 폭을 가진 연속 혹은 비연속적 밴드에서 자료를 수집한다. 그러므로 초분광 영상은 대상 물질을 직접 식별하는데 충분한 분광해상력을 가진 분광정보를 제공한다.

따라서 본 연구에서는 선박의 접근이 어려운 연안지역을 대상으로 초분광 위성영상 내 각 화소의 정확한 반사도를 얻기 위해 선형분광순수화(Linear Spectral Unmixing)기법을 적용하였다. 그리고 해저지형에서 획득한 반사도를 이용하여 수심을 산정하였다. 이 연구결과는 연안지역의 수심관측에 경제적·능률적으로 크게 기여할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 초분광 영상인 EO-1 Hyperion 위성영상을 이용하여 연안지역의 수심을 산정하고자 한다.

수심산정은 다음과 같은 영상처리를 필요로 한다. 우선 연구지역에 해당하는 부분영상을 추출하고, 대기보정과 기하보정을 실시한다. 그리고 MNF(Minimum Noise Fraction) 변환을 통해 밴드를 압축하고, 수체의 특성을 분석하는데 적합한 밴드를 선택한다. 밴드 내에서 수심산정을 위한 계수인 Diffuse Attenuation Coefficient(Kd)를 결정하고, 순수한 분광 특성을 가진 화소의 Endmember를 결정한다. 그리고 Linear Spectral Unmixing 기법을 이용해 매핑을 실시한다. 마지막으로 얻은 정보들을 이용해 수심을 산정한다. 이 결과를 수치해도와 비교·분석하고 오차의 원인을 분석하고, 향후 연구과제를 도출해 보았다.

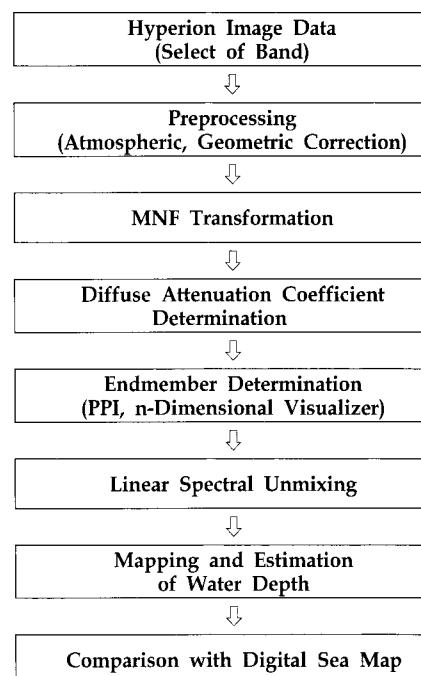


그림 1. 연구흐름도

## 2. 본 론

### 2.1 초분광영상 처리

#### 2.1.1 전처리

초분광 영상은 시각적인 확인을 통해 대기감쇄효과나 전자기 잡음을 가지고 있는 개개밴드를 확인하고, 이러한 밴드들을 제거하여야 한다. 초기 영상품질의 평가는 각 밴드의 시각적 검사, 컬러조합 영상의 시각적 검사, 애니메이션 검사, 통계적 개별 밴드 검사 등을 통해 수행된다.

대기보정(Atmospheric Correction)은 지표로부터 출발한 복사에너지가 대기의 영향을 받아 감쇄된 것을 보정하는 것으로 초분광 영상에서는 반드시 이루어져야 하는 전처리 과정이다. 대기효과를 제거하기 위한 처리과정에는 교정(Calibration)과 대기보정이 동시에 이루어진다. 교정은 원시 방사도 값을 반사도 값으로 변환하

는 것으로서 영상을 조정하고, 대기보정은 경로 길이와 대기 구성 성분의 영향을 감소시키기 위해서 각각의 화소와 파장에 대해 반사도 값을 조정한다.

기하보정은 영상의 기하학적 왜곡을 보정하여 영상좌표를 절대좌표로 변환하는 작업이다. 기하보정은 영상 대 영상, 영상 대 지도 방법을 통해 수행된다. 초분광 영상의 기하보정시 영상재배열은 재배열시 화소 밝기값의 변화가 없는 최근린 내삽법(Nearest Neighbor Interpolation)을 이용한다.

### 2.1.2 Diffuse Attenuation Coefficient

수심을 산정하기 위해서는 해저 물질의 반사율을 알아야 한다. 영상에서 획득되는 반사율은 수체의 영향으로 인해 실제 반사율과 차이가 있기 때문에 이를 보정하기 위해 Diffuse Attenuation Coefficient(K)를 사용한다. K를 산정하는 알고리즘은 다음과 같다(Austin and Petzold, 1981).

$$K_d(490) = K_w(490) + A \left[ \frac{L_w(490)}{L_w(555)} \right]^B \quad (1)$$

여기서,

$K_w(490)$  : 490nm에서 순수한 물의 K  
A, B : 선형회귀방정식으로 결정된 계수

그림 2는 A, B계수 결정에 사용된 선형회귀분석을 나타낸 그래프이다.

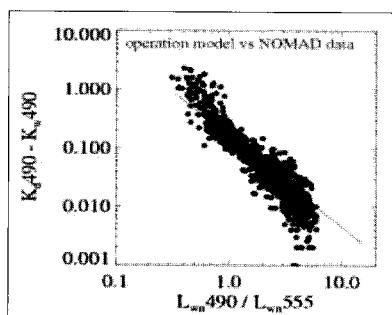


그림 2. 선형회귀분석그래프  
(Mueller, 2000)

### 2.1.3 밴드압축 및 Endmember 결정

MNF(Minimum Noise Fraction) 변환기법은 초분광 자료의 밴드수를 줄이고, 영상 내 잡음을 최소화하는데 유용한 알고리즘이다. MNF 변환은 두 단계의 PCA(Principal Component Analysis)를 적용한다. 첫 번째 변환은 자료 내의 잡음에 대해 상관관계를 줄이고 재조정하여 밴드간에 상관관계가 없는 자료를 생성한다. 두 번째로 노이즈가 제거된 MNF 고유영상과 잡음이 포함된 MNF 고유영상을 생성한다.

모든 물체가 가지고 있는 파장대별 분광 값들 중 하나의 순수한 물체로 이루어진 화소의 분광 값을 정의한 것을 Endmember라고 한다. 초분광 자료 수집시 센서 시스템의 순간시야각(Instantaneous Field of View : IFOV)에 들어오는 분광반사도는 다양한 Endmember 물질에 의한 복사속의 함수이다. 따라서 Endmember의 분광특성을 알 수 있다면 구조물의 다양한 비율을 포함하는 화소들을 식별하는 것이 가능하다. Endmember의 결정방법은 주로 세 가지로 나눌 수 있다.

첫째, 순수한 물체의 분광 값 측정하는 것이다. 이 방법은 분류하고자 하는 순수한 물체의 분광 값을 현지측정이나 기존에 측정된 값을 이용하는 것으로서 가장 이상적인 방법이라고 할 수 있다. 직접 현장에 방문하여 대상체의 분광 값을 직접 얻고 GPS로 측정된 곳의 위치를 알아내어 분석에 이용할 수 있다. 또한 기존에 취득된 분광 값을 찾아서 그 값을 Endmember로 이용할 수 있다. 여러 시험에서 취득된 각 물체들의 분광 값이 스펙트럴 라이브러리에 저장되어 있는데, 이것을 분류하고자 하는 대상체에 대하여 Endmember의 스펙트라로 이용하여 분석 할 수 있다. 그러나 실제적으로 현장조사를 통해 얻어진 분광 값과 영상 내에서 확인할 수 있는 분광 값과는 차이가 있다. 또한 현장조사가 어려울 수도 있으며 스펙트럴 라이브러리를 이용하는 경우에도 같은 지역이 아니면 환경과 기후 등에 의한 영향을 많이 받으므로 기준이 되는 스펙트럴 라이브러리의 분광 값이 영상 내의 Endmember의 분광 값과 차이가 있다는 단점이 있다.

둘째로 클러스터링을 이용하는 방법이 있다. 클러스터링(Clustering) 방법은 영상에서 같은 물체라고 추정되는 지역을 모아 그 분광의 대표값을 Endmember의 분광 값으로 취하는 방법이다. 보통 클러스터링 방법은 영상을 무감독분류를 하여 추출된 집합의 대표값을 이용하여 분석을 수행한다. ISODATA나 K-means 등으로 영상을 분류하는 것으로 가장 간편하게 이용할 수 있는 방법이다. 그러나 유용한 대표값을 얻기 위해서는 정확한 입력변수들이 필요하다. 또한, 그 결과들도 분류시 오차값들이 포함될 수 있고, 여러 물체로 혼합된 화소가 대표값으로 이용되기 때문에 그 정확성이 많이 떨어 질 수 있다는 단점이 있다.

셋째는 영상 내에서 직접 참조분광클래스를 선정하는 방법이다. 가장 순수한 물체의 값은 스펙트라의 끝 쪽에 위치하고, 그 사이의 값들은 혼합된 것이라는 전제를 바탕으로 감독자가 직접 영상 내에서 Endmember를 선정하는 방법이다. 보통 밴드의 수만큼 Endmember를 선정할 수 있는데, 밴드가 많은 경우 밴드를 압축하여 차원을 감소시켜서 Endmember를 선정하는 것이 효과적이다. 이 방법은 감독자가 연구지역에 대한 확실한 이해와 영상의 특성을 잘 파악하고 있어야 하며, 직관과 많은 경험이 필요하다. 그러나 이 방법은 객관적이지 않아 그 효율성의 입증이 어렵고, 순수한 물체의 스펙트라가 반드시 끝 쪽에 존재하지 않는다는 어려움이 있다. Endmember의 선정방법들은 각각의 장점과 단점을 가지고 있으므로 Endmember를 선정할 때는 위의 방법들을 골고루 응용하는 것이 좋다.

#### 2.1.4 Linear Spectral Unmixing 모델

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 Liner Spectral Unmixing

기법이다.

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

$$P_i = \sum_{j=1}^k (R_{ij} \cdot F_j) + E_i \quad (2)$$

여기서,

i : 1, ..., m (영상의 밴드의 수)

j : 1, ..., k (참조분광클래스의 수)

Pi : i 분광밴드 화소의 반사신호

Rij : i 분광밴드에서 j번째 종점의 반사값

Fj : j 번째 종점의 점유비율

Ei : 오차

실제로 화소의 분광값은 디지털 형식의 숫자들로 표현되므로 결과값을 도출하기 위해서는 수학적인 모델링 과정을 필요로 한다. 앞서 언급된 기본적인 모델링을 통해 하나의 밴드에서 화소 하나의 분광 값은 선택된 종점 분광값들의 합으로 표시된다.

#### 2.2 연구대상지역 및 영상제원

본 연구의 대상지역은 낙동강 하구 일대의 연안지역이다. 연구에 사용된 위성영상은 2003년 12월 20일에 취득된 EO-1(Earth Observing-1) Hyperion 영상이다. EO-1 위성의 궤도 경사각은 98.1°이며, 약 705km 상공에서 Landsat-7 위성과 동일한 궤도를 1분 간격으로 운용되고 있다. EO-1 Hyperion 영상의 제원은 표 1과 같다. 256pixels × 2128pixels × 242band로 구성된 영상 중에서 음속도와 다대포 일대의 400pixels × 400pixels×164band를 선정하였다. 그럼 3은 연구대상지역을 나타낸 것이다.

표 1. EO-1 Hyperion 영상의 제원

IFOV (mrad)	0.043
Wavelength Range (nm)	430~2400
Spectral Resolution (nm)	10
Spatial Resolution (m)	30
Number of Spectral Bands	242
Altitude (km)	705
Swath Width (km)	7.5
Date of Acquisition	2003. 12. 20
Cloud	0~9%



그림 3. 연구대상지역

## 2.3 영상처리 및 분석

### 2.3.1 영상처리

초분광 원격탐사 자료는 대기의 영향을 보정하는 대기보정이 필수적이다. 본 연구에서는 대기보정 프로그램으로 FLAASH(Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypervolumes)를 사용하였다. FLAASH는 수증기, 산소, 탄소, 메탄, 오존, 분자 및 에어로졸 산란을 보정하기 위해 MODREAN 4+ 방사전달코드 기법을 사용하여 영상의 각 화소에 대해 계산을 수행한다.

본 연구에서는 1:5,000 수치지도를 이용하여 기하보정을 실시하였다. 지상기준점을 영상내에서 확인이 용이한 교량, 교차로, 구조물의 끝점을 선

택하여 9개의 지상기준점을 선정하였다. 영상의 재배열은 밝기값의 변화가 없는 최근린 내삽법을 사용하였다. 기하보정 후의 RMSE는 0.4312로, 이는 신뢰할 수 있는 오차범위에 해당한다. 표 2는 기하보정에 사용된 GCP 좌표이며, 그림 4는 기하보정 후의 연구대상지역을 나타낸 영상이다.

표 2. GCP좌표 및 RMSE

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



그림 4. 기하보정된 영상

### 2.3.2 결과분석

수체의 영향을 고려하기 위한 계수 K는 식(1)을 이용하여 산정하였다. 파장대의 차이로 인한 계수의 변화는 거의 없으므로, 490nm와 555nm에 근접한 분광밴드를 사용하여 K를 결정하였다.

본 연구에서는 분광밴드의 수를 줄이고 영상내 잡음을 최소화하기 위해 MNF 변환기법을 사용하였다. 표 3은 MNF 밴드내의 정보량을 나타

낸 것이고, 그림 6은 MNF 변환으로 얻은 최소 잡음비율을 나타낸 것이다. MNF 밴드번호가 증가함에 따라, 고유값과 영상내의 정보가 감소함을 볼 수 있다.

표 3. MNF 밴드내의 정보량

Band	Eigenvalue	Band	Eigenvalue
1	49.15	7	4.27
2	27.05	8	3.32
3	14.49	9	3.02
4	9.92	10	2.55
5	5.61	11	2.32
6	4.53	12	2.19

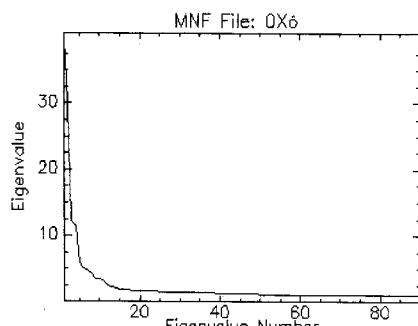


그림 5. Eigenvalue 값

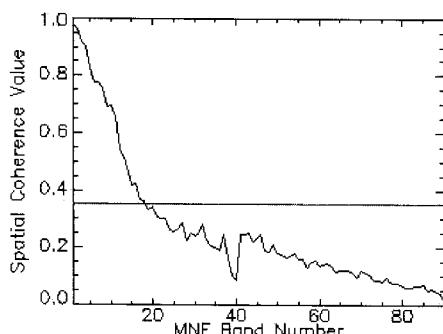


그림 6. Coherence 설정

변환된 밴드에서 PPI(Pixel Purity Index) 매핑과 n-Dimensional Visualizer를 사용하여 Endmember를 선정하고, 매핑을 실시하여 수심

산정에 이용될 화소의 분광반사도를 추출하였다. 추출된 분광반사도와 Diffuse Attenuation Coefficient를 이용하여 수심을 산정하였다. 산정된 수심은 조석의 영향을 고려하여 보정하였고, 이를 수치해도와 비교·분석하였다. 표 4는 산정된 수심과 수치해도상의 수심을 비교·분석한 것이다.

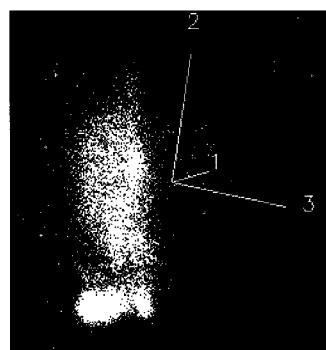


그림 7. n-Dimensional Visualizer

표 4. 수심산정결과

Point	Result of Estimation(m)	Result of Correction(m)	Map (m)	Error (m)
1	8.28	6.90	5.60	1.30
2	3.99	2.61	3.60	-0.99
3	18.23	16.85	14.90	1.95
4	19.01	17.63	14.50	3.13
5	17.96	16.58	16.30	0.28
6	14.72	13.34	10.00	3.34
7	19.37	17.99	19.90	-1.91
8	14.90	13.52	11.90	1.62
9	7.30	5.92	8.80	-2.88
10	17.41	16.03	24.00	-7.97

### 3. 결론

본 연구에서 초분광 위성영상을 이용하여 수심을 산정해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 첫째, 수중음파탐지기로 수심산정이 어려운 지역의 수심을 경제적으로 산정할 수 있

었다. 둘째, 기하보정을 실시한 결과 RMSE는 0.4312로, 이는 신뢰할 수 있는 오차범위에 해당된다. 셋째, 수치해도의 수심과 비교했을 때 발생하는 오차는 대기영향, 물의 혼탁도, 조석차, Endmember 선정문제 등에 기인한 것으로 판단된다.

향후 대기보정, Endmember 결정,  $K_d$  산정 등의 정확도를 높인다면 보다 정확한 수심산정이 가능하다고 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 김대성, “Linear Spectral Mixing 모델을 이용한 초분광 영상의 Sub-Pixel 인식에 관한 연구”, 2003, 서울대학교 석사학위논문
2. 최은영, “Hyperspectral 위성 영상을 이용한 지질 매체 분류”, 2003, 전남대학교 석사학위논문
3. Hedley J. D. and Mumby J. , “A remote sensing method for resolving depth and subpixel composition of aquatic benthos”, Limnol Oceanogr. 48, 2003, pp.480-488.
4. Mishra, D. R., Narumalani, S., Rundquist, D. and Lawson, M., Characterizing the vertical diffuse attenuation coefficient for downwelling irradiance in coastal waters: Implications for water penetration by high resolution satellite data, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 60, 2005, pp.48-64.
5. John R. Jensen, Introductory digital image processing, Sigma Press, 2005, pp.473-502.