

하이퍼스펙트럴 위성영상을 이용한 연안지역의 수심산정

Estimation of Water Depth in Coastal Area Using Hyperspectral Satellite Imagery

이종출¹⁾ · 김대현²⁾ · 이영도³⁾ · 유영화⁴⁾

Lee, Jong Chool · Kim, Dae Hyun · Lee, Young Do · Yu, Young Hwa

¹⁾ 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수(E-mail:jclee@pknu.ac.kr)

²⁾ 동의과학대학 건설계열 교수(E-mail:kdh@dit.ac.kr)

³⁾ 부경대학교 토목공학과 박사수료(E-mail:leeyd1976@hanmail.net)

⁴⁾ 부경대학교 토목공학과 석사과정(E-mail:thelifeyyh@pknu.ac.kr)

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 Endmember in pixel is using Linear Spectral Unmixing techniques. Water depth estimated using this result.

1. 서 론

현재 대부분의 수심측량은 바닥으로부터 반사되는 음파를 감지하여 선박 아래의 수심을 기록하는 능동적 수중음파탐지기를 사용하고 있다. 그러나 선박은 수심이 얇은 만, 하구, 강으로는 접근이 불가능하므로 원격탐사를 이용한 수심측량의 필요성이 대두되었고, 이에 관한 연구가 진행되고 있다. 원격탐사에서는 물리적인 개체에 대한 정보를 획득하기 위해서 주로 영상의 분광정보와 공간정보를 이용한다. 영상이 충분한 공간해상도를 가지더라도 주변 물체와의 분광반응 사이에 뚜렷한 차이가 없다면 물체의 식별이 힘들다. 따라서 분광정보를 이용한 영상분석이 필요하다.

비교적 넓은 밴드폭을 가진 3~10개의 분광밴드에서 자료를 수집하는 대부분의 다중분광 원격탐사 자료와는 달리 하이퍼스펙트럴 센서는 400~2500nm 사이에 10nm의 폭을 가진 연속 혹은 비연속적 밴드에서 자료를 수집한다. 이는 하이퍼스펙트럴 영상이 대상 물질을 직접 식별하는 데 충분한 해상력을 가진 분광 정보를 제공한다. 따라서 본 연구에서는 선박의 접근이 어려운 연안지역을 대상으로 하이퍼스펙트럴 위성영상의 분광정보를 이용하여 수심을 산정하고, 이를 수치지도와 비교·분석하였다.

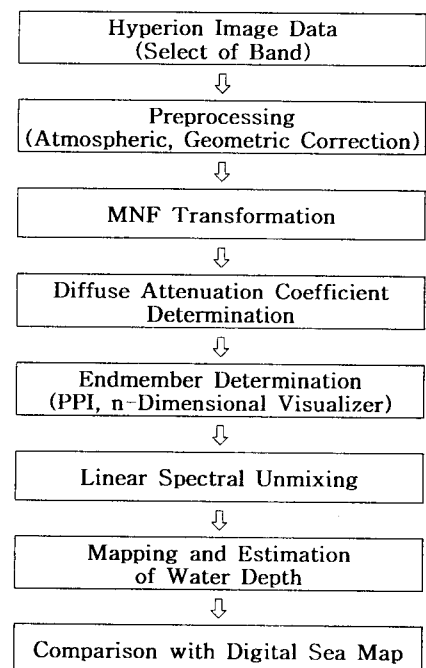


그림 1. 연구흐름도

2. 하이퍼스펙트럴 위성영상

2.1 전처리

하이퍼스펙트럴 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.

대기보정은 대기감쇄효과를 제거하고, 하이퍼스펙트럴 자료의 방사도를 비율표면반사도로 변환시키는 작업이다. 대기보정은 수집된 현장료를 이용하는 방법, 방사전달모델에 기초한 화소단위 대기보정, 밴드별 분광조율, 경험적 선형보정 기법을 이용한 방법 등을 통해 보정이 이루어진다.

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

2.2 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.

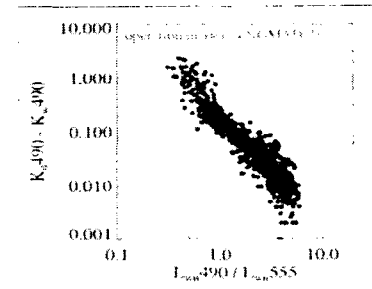


그림 2. 선형회귀분석그래프 (Mueller, 2000)

2.3 밴드압축 및 Endmember 결정

MNF(Minimum Noise Fraction) 변환기법은 하이퍼스펙트럴 자료의 밴드수를 줄이고, 영상 내 잡음을 최소화하는데 유용한 알고리즘이다. MNF 변환은 두 단계의 PCA(Principle 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.

Endmember는 모든 물체가 가지고 있는 파장대별 분광 값들 중 하나의 순수한 물체로 이루어진 화소의 분광 값을 정의한 것이다. 하이퍼스펙트럴 자료 수집시 센서 시스템의 순간시야각(Instantaneous Field of View : IFOV)에 들어오는 분광반사도는 다양한 Endmember 물질에 의한 복사속의 함수이다. 따라서 Endmember 물질의 분광특성을 알 수 있다면, 구조물의 다양한 비율을 포함하는 화소들을 식별하는 것이 가능하다.

2.4 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 Linear 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 분광 값에 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,

$i : 1, \dots, m$ (영상의 밴드의 수)

$j : 1, \dots, k$ (참조분광클래스의 수)

P_i : i 분광밴드 화소의 반사신호

R_{ij} : i 분광밴드에서 j 번째 종점의 반사값

F_j : j 번째 종점의 점유비율

E_i : 오차

3. 연구대상 지역 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. $256\text{pixels} \times 2128\text{pixels} \times 242\text{band}$ 로 구성된 영상 중에서 을속도와 다대포 일대의 $400\text{pixels} \times 400\text{pixels} \times 164\text{band}$ 를 선정하였다. 그림 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

4. 영상처리 및 분석

4.1 전처리

하이퍼스펙트럴 원격탐사 자료는 대기의 영향을 보정하는 대기보정이 필수적이다. 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 MODREAN 4+ 방사전달코드 기법을 사용하여 영상의 각 화소에 대해 계산을 수행한다. 그림 4는 대기보정 전·후의 분광반사도를 나타낸 것이다. 수심정보의 획득에 사용되는 440~540nm 부근에서 반사도가 현저하게 개선된 것을 확인할 수 있다.

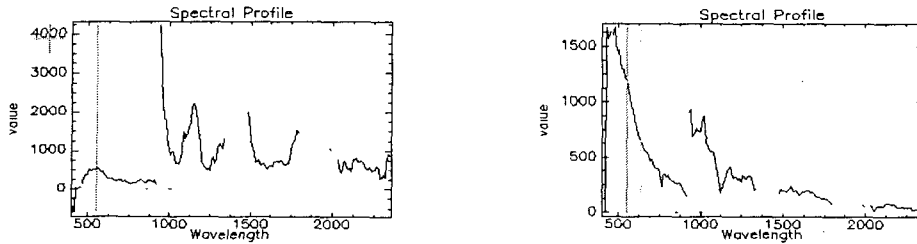


그림 4. 대기보정 전(좌측)·후(우측)의 반사도 프로파일

본 연구에서는 1:5,000 수치지도를 이용하여 기하보정을 실시하였다. 지상기준점은 영상내에서 확인이 용이한 교량, 교차로, 구조물의 끝점을 선택하여 9개의 지상기준점을 선정하였다. 영상의 재배열은 밝기 값의 변화가 없는 최근린 내삽법을 사용하였다. 기하보정 후의 RMSE는 0.4312로, 이는 신뢰할 수 있는 오차범위에 해당한다. 표 2는 기하보정에 사용된 GCP 좌표이며, 그림 5는 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	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



그림 5. 기하보정 후의 영상

4.2 영상분석

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 영상 내 잡음을 최소화하기 위해 MNF 변환기법을 사용하였다. 표 3은 MNF 밴드내의 정보량을 나타낸 것이고, 그림 6은 MNF 변환으로 얻은 최소잡음비율을 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

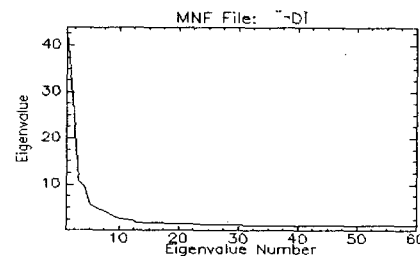


그림 6. MNF 결과

변환된 밴드에서 PPI(Pixel Purity Index) 매핑과 n-Dimensional Visualizer를 사용하여 Endmember를

선정하고, 매핑을 실시하여 수심산정에 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.

표 4. 비교·분석 결과

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

5. 결 론

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

참고문헌

- 김대성 (2003), Linear Spectral Mixing 모델을 이용한 하이퍼스펙트럴 영상의 Sub-Pixel 인식에 관한 연구, 서울대학교, 석사학위논문.
- 최은영 (2003), Hyperspectral 위성 영상을 이용한 지질 매체 분류, 전남대학교, 석사학위논문.
- Hedley J. D. and Mumby J. (2003), A remote sensing method for resolving depth and subpixel composition of aquatic benthos, *Limnol Oceanogr.* 48: 480-488.
- Mishra, D. R., Narumalani, S., Rundquist, D. and Lawson, M. (2005), 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: 48-64.
- John R. Jensen (2005), *Introductory digital image processing*, Sigma Press, pp. 473-502.