

연구논문

# Landsat ETM+ 영상에서 클로로필a 농도 추정시의 최적밴드 평가 Evaluation of the Optimum Band When Estimate the Density of Chlorophyll-a In Landsat ETM+ Image

최승필\* · 박종선\*\*

Choi, Seung Pil · Park, Jong Sun

## 要 旨

광범위한 지역의 자연환경 정보를 파악하기 위하여 위성 영상자료를 이용하는 것이 적합하지만 선행되어야 할 것은 이러한 위성영상자료를 이용하기 위한 지상에서의 내부 실험과 현장실험을 통한 기초적인 모형식을 만드는 것이 중요하다. 이를 위하여 위성영상자료와 실측수질인자들의 상관관계를 조사하는 것이 보다 정확하고 객관적인 평가 방법이 될 수 있다. 따라서 대기의 영향이 없는 실험실내에서 순수한 담수와 해수를 이용하여 Landsat ETM+ 영상자료의 어느 밴드가 클로로필a 농도파악에 적합한가를 평가하고자 하였다. 그 결과 밴드조합 중 가장 높은 상관관계를 보인 최적밴드는 담수에서 (B3-B4)/B2이고, 해수에서는 (B2+B4)/B3로 이 때의 상관계수가 각각 0.9747, 0.9892이다. 따라서 Landsat ETM+ 영상자료를 이용하여 클로로필a 농도 평가 시 이 밴드를 조합하여 사용하는 것이 유효할 것으로 생각된다.

**핵심용어** : 클로로필a 농도, 최적밴드, Landsat ETM+

## Abstract

Although it is more recommended to use satellite images for an accurate understanding of the natural environment over a large area, what should proceed obtaining such satellite images is to make basic model equations based firmly upon the on-land experiments and field experiments. It may be more accurate and objective to investigate correlations between satellite images and actual water quality factors obtained for the same area. Thus, this study was conducted in order to determined which band of Landsat ETM+ images is appropriate to estimate the density of chlorophyll-a in a closed laboratory without atmospheric interference, using pure water and sea water. As a result of this study, it was found that the best band that exhibited the highest degree of correlations among the compounded bands rated (B3-B4)/B2 in pure water and (B2+B4)/B3 in sea water. The correlation coefficient here is 0.9747 and 0.9892 respectively. Thus, compounding this band can be quite useful for estimation density of Chlorophyll-a using Landsat ETM+ image data.

**Keywords** : Density of Chlorophyll -a, Optimum Band, Landsat ETM+

## 1. 서 론

호수 및 하천하류는 최근 영양염류의 과다한 유입으로 부영양화가 유발되어 오염이 심각한 실정이며 수중의 질소(N), 인(P)의 영양 염류 농도가 급속하게 상승 하였다. 그 결과 식물 플랑크톤이 급속히 증가한 인위적 부영양화가 나타나게 되었다(조흥연 등, 1995).

그래서 정부에서는 인위적 부영양화가 발생하기 쉬운

호수 및 연안해역 수역에서 부영양화의 방지를 도모하기 위해 질소 및 인에 관계된 배수기준을 설정하는 등 부영양화 대책을 세워 배수 규제를 행하고 있다.

부영양화에 관련된 수질 인자로서 생물화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소 요구량(COD), 용존산소(DO), 총질소량(T-N), 총인량(T-P), 투명도(SD), 클로로필a 등이 있지만(Makarewics, 1993, Mallin 등, 1994) 일반적으로 광합성색소는 300-500nm의 파장대에 있어서 전자

2006년 4월 3일 접수, 2006년 6월 8일 채택

\* 정회원·관동대학교 토목교통공학부 교수 (spchoi@kwandong.ac.kr)

\*\* 교신저자·관동대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (jongsun2002@lycos.co.kr)

파를 흡수하고 클로로필은 다른 색소가 그다지 흡수하지 않는 적색파장대(600-700nm)에서 최고의 흡광도를 나타낸다(稻田勝美, 1984).

따라서 일부 선진국에서는 광역수계의 수질관리를 위해 넓은 지역에 대한 동시관측과 동일지역의 반복관측이 가능한 위성 원격탐사기법을 도입하여 대상수역의 종합적인 수질상태를 신속하고 정확하게 파악하고 있다(김태식 1997).

위성 영상자료에 의한 클로로필a 농도 추정에 있어서 폭넓게 행해지고 있는 방법으로 가시파장대에서 근적외 파장대에 상당한 2파장의 디지털자료의 비를 독립변수로 하여 클로로필 a 농도와의 회귀분석을 행하고, 클로로필a의 농도 추정모형을 작성하는 기법이 많이 사용된다(作野裕司 등, 1999).

그런데 광범위한 지역의 자연환경 정보를 파악하기 위하여 위성 영상자료를 이용하는 것이 적합하지만 선행되어야 할 것은 이러한 위성영상자료를 이용하기 위하여 지상에서의 내부실험과 현장실험을 통한 기초적인 모형식을 만드는 것이 중요하다. 이를 위하여 위성영상자료와 실측수질인자들의 상관관계를 조사하는 것이 보다 정확하고 객관적인 평가 방법이 될 수 있다.

담수와 해수에 있어서 Landsat ETM+영상자료의 어느 밴드가 클로로필a 농도추정에 적합한지를 파악하는 기술을 확립하는 것이 필요하다

따라서 대기의 영향이 없는 실험실내에서 순수한 담수와 해수를 이용하여 Landsat ETM+영상자료의 어느 밴드가 클로로필a 농도파악에 적합한가를 평가하고자 한다.

## 2. 실 험

### 2.1 실험장치

외부로부터의 빛을 완전히 차단한 암실에서 실험을 시행 하였으며, 광원은 노이즈를 최대한 줄이기 위하여 할로겐램프를 사용하였다(全炳德, 1994). 또한 내부 바다

으로부터 발생하는 반사광의 영향을 없애고자 투명한 아크릴 대신 빛의 반사와 산란을 막을 수 있는 흑색 아크릴 판을 사용한 수조위에 분광반사계 Field-Spec® Handheld를 설치하여 관측하였다. 관측파장대는 325nm~1075nm이며, 1nm간격으로 관측 하였다 또 이 분광반사계는 자체적으로 백색판을 기준으로 분광반사율을 계산한다.

그리고 분광반사율 관측은 수조의 수면으로부터 센서까지의 높이를 70cm, 관측 시야각을 10°로 설정하여 관측하였다. 관측에 사용된 분광반사계의 사양을 표 1에, 실험장치 및 실험에 사용한 샘플용액을 그림 1에 나타내었다.

샘플 용액에서 클로로필a의 양을 관측하는데 쓰인 분광광도계 UVIKON 922를 그림 2에 나타내었다.

### 2.2 샘플 물

실험에 이용한 담수는 동해시 천곡동에 위치한 표 2와 같은 수질을 이용하였고, 해수는 양양군 낙산방파제에서

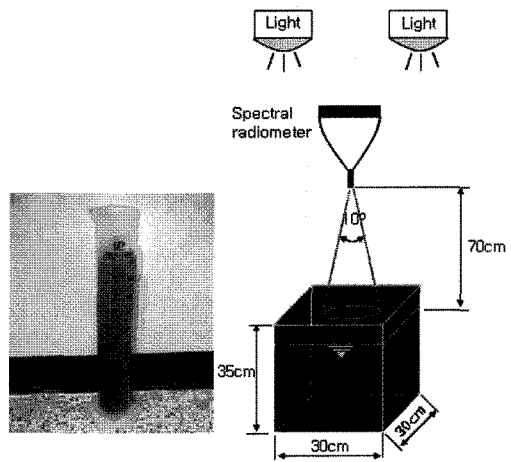


그림 1. 실험장치 및 샘플용액

표 1. 분광반사계 사양

Name	FieldSpec® Handheld
Spectral Range	325 ~ 1075nm
Sampling Interval	1.0nm @ 325 - 1075nm
Detectors	512 Channel
Input(Sight Angle)	Fixed 25° field of view. Optional fiber optic and foreoptics available(1°, 10°)
Calibration	Wavelength, reflectance, radiance, irradiance.
Data Collection Rate(solar illumination)	0.7 spectra/second(solar illumination)

표 2. 담수의 수질

항목	일반세균	총대장균	암모니아성질소	질산성 질소	과망간산 칼륨소비량	중발 잔유물
응용 기준	100CFU/ml	불검출/100ml	0.5/l	10mg/l	10mg/l	500mg/l
검사	불검출	불검출	불검출	0.8	0.3	97



그림 2. 분광광도계

깨끗한 해수를 채수하여 사용하였다.

2.3 실험 결과

담수와 해수에 있어서 클로로필a의 농도별 변화에 따

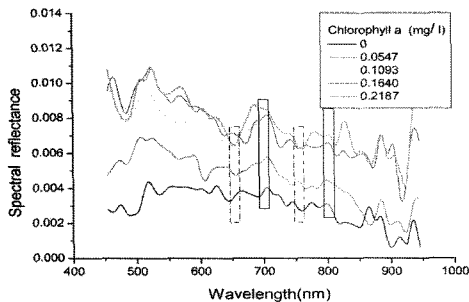
른 파장별 분광 반사율을 그림 3에 나타내었다.

파장대는 클로로필a의 농도가 상승함에 따라 분광 반사율도 상승한 경향을 나타내고 있으므로 분광반사율이 클로로필a의 농도 추정에 이용될 수 있는 가능성을 보여 주고 있다. 또한 660nm 및 760nm 부근은 인접한 파장대와 비교하여 분광 반사율이 낮고, 700nm 및 800nm 부근은 인접한 파장영역과 비교하여 분광 반사율이 높은 것을 알 수 있다.

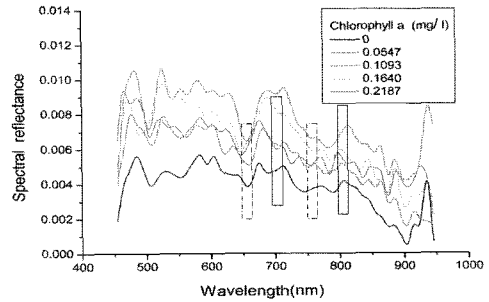
Landsat ETM+ 영상자료에 해당하는 밴드별 분광 반사율의 평균값과 클로로필a 농도에 대한 상관분석을 하여 얻어진 상관 계수, 회귀계수 그리고 이에 따른 표준편차를 표 3에 나타냈다.

밴드별 분광반사율과 클로로필a 농도와의 관계를 담수와 해수별로 그림 4에 나타내었다.

담수의 경우 클로로필a의 농도가 높아짐에 따라 분광 반사율 값이 증가하는 양상을 보이는 반면, 해수에서는 클로로필a의 농도 0.0547 mg/l 에서 분광반사율 값이 담



담수



해수

그림 3. 클로로필a의 농도 변화에 따른 파장별 분광 반사율

표 3. Band별 상관 계수, 회귀 계수 및 표준편차

밴드	구분	담수			해수		
		상관계수	회귀계수	표준편차	상관계수	회귀계수	표준편차
band1(450~520nm)		0.9000	0.0299	0.0014	0.7260	0.0138	0.0013
band2(520~600nm)		0.9630	0.0264	0.0007	0.9672	0.0200	0.0005
band3(630~690nm)		0.9417	0.0179	0.0006	0.9126	0.0138	0.0006
band4(750~900nm)		0.9738	0.0200	0.0005	0.8860	0.0116	0.0006

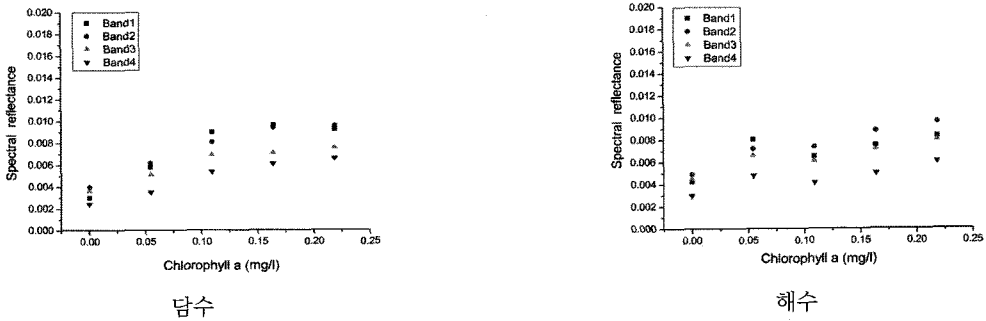


그림 4. 밴드별 분광반사율과 클로로필a 농도와의 관계

수와 비교하여 특이한 현상을 보였는데 이것은 성분이 다른 해수의 수질인자가 반사율에 영향을 끼쳐서 이러한 양상을 보여준다고 생각된다.

표 4. 밴드별 조합에 의한 식수

독립변수의 기본모형	밴드별 조합의 식수	비고
$\frac{R_{band_i}}{R_{band_j}}$	12	i=1~4 j=1~4 K=1~4
$\frac{R_{band_i} - R_{band_k}}{R_{band_j} + R_{band_k}}$	12	
$\frac{R_{band_i}}{R_{band_j} + R_{band_k}}$	36	
$\frac{R_{band_i} + R_{band_j}}{R_{band_k}}$	36	
$\frac{R_{band_i}}{R_{band_j} - R_{band_k}}$	24	
$\frac{R_{band_i} - R_{band_j}}{R_{band_k}}$	24	

### 3. 모형 평가

#### 3.1 평가 방법

모형식을 식 (1)과 같이 가정하고 비연산 조합을 이용하여 관측된 클로로필a와의 상관관계를 구하였다.

$$Chlorophyll(mg/l) = AX + B \tag{1}$$

여기서 A : 회귀계수  
B : 절편  
X : 독립변수

6가지 종류를 기본으로 하여 독립변수의 기본모형을 평가 하였으며 독립변수의 기본모형에 따른 밴드별 조합에 의한 식수를 표 4에 나타내었다.

#### 3.2 평가 결과

클로로필a 농도와의 상관관계가 높은 독립변수들 중에서 상관계수가 0.9600 이상 되는 값 중에서 2개의 밴드와 3개의 밴드를 이용한 독립변수별 통계자료를 각각 표 5,

표 5. 2개 밴드 조합을 이용 하였을 때 통계자료(상관계수 0.9600 이상)

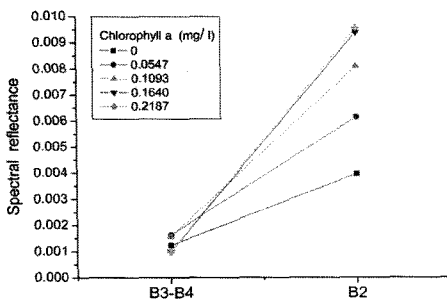
구분	독립변수(X)	상관계수(R)	회귀계수(a)	절편(b)	유의수준P
담수	B4/B3	0.9694	1.1002	0.6484	0.0064
	(B3-B4)/B3	-0.9694	-1.1002	0.3516	0.0064
	(B4-B3)/(B4+B3)	0.9691	0.7079	-0.2110	0.0065
	(B3-B4)/(B4+B3)	-0.9691	-0.7079	0.2110	0.0065
	B3/(B3+B4)	-0.9691	-0.3540	0.6055	0.0065
	B4/(B3+B4)	0.9691	0.3540	0.3945	0.0065
	B3/B4	-0.9680	-1.9086	1.5270	0.0069
	(B3+B4)/B4	-0.9680	-1.9086	2.5270	0.0069
	(B3-B4)/B4	-0.9680	-1.9086	0.5270	0.0069
해수					

표 6. 3개 밴드 조합을 이용 하였을 때 통계자료(상관계수 0.9600 이상)

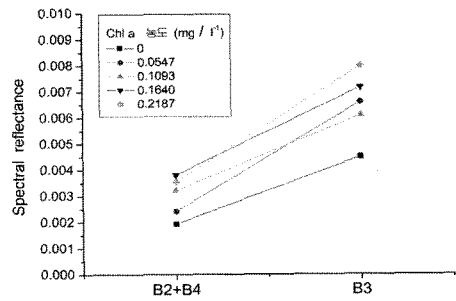
구분	독립변수(X)	상관계수(R)	회귀계수(a)	절편(b)	유의수준P
담수	(B3-B4)/B2	-0.9747	-1.0551	0.3110	0.0048
해수	(B2+B4)/B3	0.9892	0.9322	1.7671	0.0014
	B3/(B2+B4)	-0.9853	-0.2698	0.5654	0.0021
	B4/(B1-B3)	0.9613	136.9790	-7.9120	0.0091

표 7. 클로로필a의 농도변화에 따른 반사율 차이

독립변수		클로로필a 농도(mg/l)				
		0	0.0547	0.1093	0.1640	0.2187
담수	B2-(B3-B4)	0.0027	0.0045	0.0065	0.0084	0.0086
해수	B3-(B2+B4)	0.0026	0.0042	0.0028	0.0034	0.0044



담수(Band3-Band4 및 Band2)



해수(Band2+Band4 및 Band3)

그림 5. 클로로필a의 농도 변화에 따른 밴드 조합 관계

표 6에 나타내었다.

2개 밴드 조합의 경우, 담수에서는 Band3과 Band4의 조합으로 이루어진 B4/B3, (B3-B4)/B3에서 클로로필a 농도와 상관계수가 0.9694로 가장 높게 나타났다. 반면에 해수에서는 B3/B2의 조합일 때 클로로필a 농도와 상관계수가 0.8411로 비교적 낮게 나타났기에 표에 제시하지 않았다. 3개 밴드 조합의 경우, 가장 높은 상관계수를 보인 것은 담수에서 (B3-B4)/B2이고 이때의 상관계수는 0.9747, 해수에서는 (B2+B4)/B3로 이때의 상관계수는 0.9892로 비교적 높게 나타났다.

한편 담수의 경우 표 3에서 Band4의 단일 밴드만을 사용하였을 때의 상관계수는 0.9738로 2개밴드 조합의 최대상관계수 값인 0.9694보다도 높게 나타났다.

1개 밴드 및 2개, 3개 밴드의 조합 중 가장 높은 상관계수를 보인 최적밴드는 담수에서 (B3-B4)/B2였고 해수에서 (B2+B4)/B3로 이때의 상관계수가 각각 0.9747, 0.9892로 나타났다.

이 경우 신뢰수준에 대응되는 값인 유의수준(P)이 담

수, 해수 모두에서 0.01보다 작은 값들인데 이것은 99% 이상의 신뢰도를 보여준다고 생각된다.

담수와 해수에서 독립변수와 클로로필a 농도의 변화에 따른 가장 높은 상관계수를 보인 밴드조합간의 관계를 그림 5에 나타내었다. 그리고 이들 밴드조합 중에서 상관계수가 가장 높은 독립변수 중에서 분자와 분모의 반사율 차이를 나타낸 것이 표 7이다.

담수에서 클로로필a의 농도가 증가함에 따라 밴드조합의 반사율차이 값이 점차 증가하는 경향을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 해수에 있어서도 전반적으로 클로로필a의 농도가 증가함에 따라 반사율 차이 값이 점차 증가하는 경향을 보이지만 0.0547(mg/l)부근에서 특이한 현상을 보여주고 있다.

#### 4. 결 론

Landsat ETM+ 영상자료에서 수역의 클로로필a의 농도를 추정하기 위하여 최적밴드 평가실험을 한 결과 다

음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 밴드 조합 중 가장 높은 상관관계를 보인 최적밴드는 3개 밴드 조합인 담수에서  $(B3-B4)/B2$ 이고, 해수에서  $(B2+B4)/B3$ 로 이때의 상관계수가 각각 0.9747, 0.9892이므로 Landsat ETM+ 위성영상자료를 이용하여 클로로필a 농도 평가 시 이 밴드를 조합하여 사용하는 것이 유효할 것으로 생각된다.

둘째, 담수의 경우 Band4만을 사용하였을 때의 상관계수가 0.9738로 3밴드의 조합중 가장 높은 상관계수인 0.9747과 큰 차이가 없으므로 농도 평가 시 Band4만을 활용하여도 유효할 것으로 생각된다.

셋째, 담수와 해수의 클로로필a 농도 추정시 최적밴드의 밴드조합이 서로 다르다는 것을 알 수 있었다. 향후 이 결과를 Landsat ETM+ 위성영상자료에 적용하여 재평가할 필요가 있다고 생각된다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부지정 관동대학교 첨단해양공간개발연구센터의 지원에 의한 것입니다. 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 조홍연, 이길성, 1995, 부영양화 예측모형의 개발 및 적용, *대한토목학회 1995년도 학술발표회 논문집(III)*, 토목학회, pp. 548-551.
2. 김태식, 1997, *LANDSAT TM 영상자료를 이용한 호수 수질 평가에 관한 연구*, 대학원 박사 학위논문, 전북대학교, pp. 1-151.
3. 稲田勝美, 1984, 光と植物生育—光選択利用の基礎と應用—, 養賢堂, pp. 79-81.
4. 全炳德, 1994, *데یتال카메라似寄る大村灣の水質調査*, (社)日本リモートセンシング學會 第17回學術講演會論文集, 日本リモートセンシング學會, A6, pp. 17-20.
5. 作野裕司, 松永恒雄, 中山大介, 六川修一, 高安克己, 國井秀伸, 中村幹雄, 山室貴澄, 1999, SPOT/HRV 데이터によるアオコ生時の道き脅クロロフィルa濃度分布の推定 *日本リモートセンシング誌*, 19-2, pp. 20-36.
6. Makarewicz, J. C., 1993, A lakewide comparison of zoo-plankton biomass and its species composition in Lake Erie, 1983~1987. *Great Lake Res*, 19(2), pp. 275-290.
7. Mallin, M. A. and H. W. Parel, 1994, Planktonic trophic transfer in an estuary: seasonal, diel, and community structure effects. *Ecology*, 78(8), pp. 2168-2185