

# 수중 광학측정을 이용한 Landsat TM 밴드비율 알고리즘 검증

정 종 철<sup>1</sup>

## The Validation of Landsat TM Band Ratio Algorithm using In-water Optical Measurement

Jong-Chul Jeong<sup>1</sup>

### 요 약

본 연구에서는 Landsat TM을 이용하여 연안해역의 수질을 모니터링하기 위해 현장에서 조사된 수중광학 측정자료를 Landsat TM 밴드에 적용하여 Landsat TM 밴드비율 알고리즘을 구성하였다. 수중광학 측정장치인 PRR(profiling reflectance radiometer)을 이용하여 획득된 수중 광 반사도를 Landsat TM 밴드 폭으로 보정한 후 현장에서 실측된 피그먼트와 통계적으로 분석하여 관계식을 도출하였다. 수중 광 반사도를 TM 밴드 1과 밴드 2의 비율에 의한 알고리즘으로 구성하여  $Y = 3.8352 \times (R(\text{band 1}) / R(\text{band 2}))^{-2.1978}$  ( $R^2=0.7069$ )과 같은 관계식을 도출하였고, 밴드 1과 밴드 3의 비율에 의한 반사도와 피그먼트의 관계는  $Y = 23.288 \times (R(\text{band 1}) / R(\text{band 3}))^{-1.5243}$  ( $R^2=0.8062$ ) 이다. 수면 위로 올라오는 광량과 TM의 레이디언스 값을 각각 구하여 대기효과 중의 Rayleigh 산란과 Mie 산란에 의한 대기중의 잡음비율을 파악하였으며, 연안해역의 조사지점에서 80% 이상의 대기잡음이 있음을 제시하였다. 본 연구에서 도출된 수중 광 알고리즘을 Landsat TM에서 수신된 영상신호에 적용하여 시화호와 연안해역의 수질을 정량적으로 분석하기 위해서는 수중 구성 성분들의 수중 광학 특성을 고려한 수중 알고리즘의 보정과 대기중의 잡음을 효율적으로 제거할 수 있는 대기보정기법의 적용이 요구된다.

주요어: Landsat TM, 수중 알고리즘, 수중광학 측정기

### ABSTRACT

Landsat TM band ratio algorithms were made by in-water optical measurement data of each sampling points for water quality monitoring of coastal area using Landsat TM satellite data. The algorithm was derived from in-water optical reflectance data which was measuring by the PRR(profiling reflectance radiometer). And, in-water optical reflectance data were applied to Landsat TM bands. Relationship between in-water optical reflectance and pigments proposed by the ratio of TM band 1 and band 2 showed to as follows;  $Y = 3.8352 \times (R(\text{band 1})/R(\text{band 2}))^{-2.1978}$  ( $R^2=0.7069$ ) and, relationship of the ratio of TM band 1 and band 3 as follows;  $Y = 23.288 \times (R(\text{band 1})/R(\text{band 3}))^{-1.5243}$  ( $R^2=0.8062$ ). Calculated the upwelling radiance of water surface and

2001년 2월 12일 접수 Received on February 12, 2001

<sup>1</sup> 남서울대학교 지리정보공학과 (jcjeong@nsu.ac.kr) Dept. of Geoinformatics Engineering, Namseoul University

radiance of TM showed the ratio of atmospheric effect. In the coastal area Rayleigh and Mie scattering of atmosphere is to make over 80% of normalized radiance of Landsat TM. In order to apply in-water algorithm obtained by PRR, we had to calculate the atmospheric effects at sampling site. And, the quantitative analysis of in-water components using Landsat TM data need the calibration of in-water algorithm and effective method of atmospheric correction.

*KEYWORDS: Landsat TM, In-water Algorithm, PRR(Profiling Reflectance Radiometer)*

## 서 론

원격탐사 기법에 의해 수체의 엽록소 농도와 부유사 농도를 정량적으로 평가하고자 하는 연구는 지구관측위성의 개발과 함께 CZCS, AVHRR, OCTS, SeaWiFS, SPOT HRV, Landsat TM, MSS 등의 센서를 이용하여 해양과 내륙의 호수에 적용되어 왔다. CZCS, OCTS, SeaWiFS와 같은 해양관측위성의 경우는 해양의 엽록소 농도와 부유사 농도를 정량적으로 파악할 수 있는 알고리즘이 개발되고 검증되어 왔으나, 공간해상력이 700~1200m 정도여서 연안해역이나 내륙의 호수에는 적용하기 어렵다.

반면에 Landsat TM, SPOT HRV 등은 육상의 지형분석이나 식생분석 등 육상관측위성으로 이용되어 왔으나, 20~30m의 공간해상력을 가지고 있고, 가시영역의 밴드와 근적외선 밴드를 가지고 있어서 연안해역과 내륙 호수의 엽록소 농도와 부유사 농도를 추정하는데 이용되어 왔다. 하지만, TM과 HRV의 경우 밴드 폭이 넓어 수중에서의 구성 성분을 정성적으로 구분해내거나 이를 정량적으로 평가할 수 있는 알고리즘의 적용이 어렵고 대기창(atmospheric window)에서 대기중의 투과도에 대한 영향이 해석센서에 비해 더 크게 작용하여 위성자료의 분석에 따른 오차가 크게 나타나는 단점을 지니고 있다(Doerffer 등, 1989).

이러한 단점을 극복할 수 있는 알고리즘을 개발하기 위해 MacFarlane과 Robinson(1984), Brakel(1984), Ritchie 등(1987), Reddy(1993) 등은 Landsat MSS를 이용하였고, Huh 등(1996)

은 SPOT HRV를 이용하여 연안해역의 부유사 분포를 다중채널센서와 비교하여 SPOT의 적용 가능성을 살펴보았다.

연안해역과 내륙의 호수에 엽록소와 부유사 농도 분포를 파악하기 위해 보다 높은 공간해상력과 다중채널을 지닌 비행기 탑재센서인 AVIRIS를 이용한 Hamilton 등(1993)의 연구와 ATM을 이용한 Garcia와 Robinson(1991), George(1997)의 연구가 있다. 또한, Bagheri와 Dios(1990), Garcia와 Caselles(1990), Lathrop와 Lillesand(1991), Ekstrand(1992), Mayo 등(1995), 정종철 등(1999) 등은 본 연구에서 적용하고자 하는 Landsat TM을 이용하였다.

이러한 다양한 센서의 적용 연구에서는 수중 구성성분의 광학적인 특성을 파악하고 이들의 정량적 관계를 통한 위성자료의 해석이 수행되지 못하였고, 현장에서 실측한 농도자료와 위성에서 수신된 영상신호를 통계적으로 분석하는 연구에 머물고 있다.

본 연구에서는 수중의 엽록소와 부유사를 정량적으로 분석하기 위해 제시된 Morel과 Gordon(1983)의 수중알고리즘 중에서 경험적 방법(empirical method)에 의한 알고리즘 검증 방법을 제시하였다. 경험적 방법은 일종의 black-box 모델로서 2, 3개의 파장대에서 관측되는 수중광량의 비율이나 차이와 엽록소 농도를 통계적으로 분석하여 관계식을 도출하는 것이다.

특히, Landsat TM 자료를 이용하여 시화호와 그 연안해역의 엽록소와 부유물질을 정량적으로 해석하기 위해 수중광 측정장치인 PRR(profiling reflectance radiometer)을 이용

하여 밴드비율 알고리즘을 구성하고, Landsat TM 자료를 이용하여 시화호와 그 연안해역의 수중 구성성분을 정량적으로 분석하는데 따른 문제점과 밴드비율 알고리즘 적용의 타당성을 파악하는데 연구의 목적이 있다.

## 연구방법 및 범위

연구의 공간적인 범위는 수질오염이 심각한 시화호와 그 연안해역이며(그림 1), 현장조사 자료와 동일한 시점의 TM 위성자료인 1997년 6월 16일(path-row:116-034) 자료를 이용하였다. 위성자료는 현장조사 자료와 비교 가능하도록 기하보정하였다.

현장조사는 Landsat TM이 조사지점을 지나가는 오전 10시 30분을 전후하여 이루어졌으며, 연안해역 10개 정점과 시화호 15개 정점에서 현장측정하였다.

수중 구성성분은 pigments(chlorophyll-a + phaeo-pigment), TSS(total suspended solids)

와 SS(suspended sediment)를 조사하였다. pigments 측정은 현장에서 채수한 시료를 47 mm GF/F 여과지에 걸러낸 뒤 13ml의 90% acetone에 추출하였다. 추출한 시료는 syringe filter set를 이용하여 GF/C 여과지에 걸러 입자를 제거한 뒤 Turner fluorometer(Turner Designs model 10)로 분석하였고, 산화법에 의해 chlorophyll-a 와 phaeo-pigment를 정량하였다.

부유물질 측정은 채수한 시료를 47mm GF/F 여과지에 걸러낸 뒤 염기를 제거하기 위해 증류수로 두 차례 씻어준 뒤 oven의 온도를 60°C로 유지하며 24시간 건조시켜 TSS를 정량하였고, 이를 다시 460°C에서 4시간 유기물을 태워 SS를 측정하였다.

수중광학 측정자료는 PRR-600(Biospherical Co.)을 이용하여 얻었다. PRR은 6개 채널(412, 443, 490, 510, 555, 665nm)을 가지고 있으며, 각 채널은 10nm의 밴드폭을 지닌다. PRR을 통해 얻은 광량자료는 Landsat TM 밴드 폭에

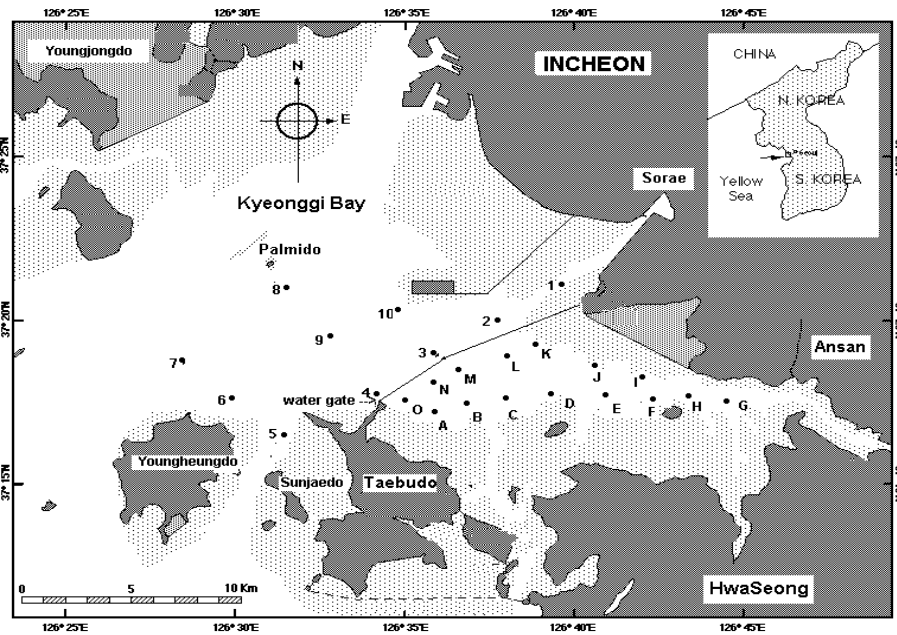


FIGURE. 1 Study area and sampling sites

맞게 보정한 후 식 (1)에 의해  $R_{rs}$ (remote sensing reflectance)를 구하였다.

$$R(\lambda) = E_u(\lambda) / E_d(\lambda) \\ = Q [ Lu(\lambda) / E_d(\lambda) ] \quad (1)$$

여기서  $Lu(\lambda)$ 는 upwelling radiance이며,  $E_u(\lambda)$ 는 upwelling irradiance,  $E_d(\lambda)$ 는 downwelling irradiance이다.  $Q$ 는 보정상수이다.

수중 광량 자료를 Landsat TM 밴드 폭에 맞게 보정하여 얻은  $R_{rs}$ 를 경험적방법에 의한 밴드비율 알고리즘으로 구성하여 현장조사 자료와 통계적인 분석을 하여 관계식을 도출하였다.

그림 2는 본 연구의 수행과정을 나타낸 것으로 현장조사와 위성영상 분석의 두 가지 연구흐름으로 진행하였다. 현장에서 조사된 수중 광학 측정자료를 TM 밴드로 보정하여 엽록소와 부유물질의 실측치를 비교하였고, 최종적으로 도출된 수중 알고리즘을 TM 밴드에 적용하는데 따른 문제점을 파악하였다.

## 결과 및 고찰

현장조사된 결과는 시화호와 그 연안해역의 수질이 서로 다른 수중광학 특성을 나타내고 있음을 보여준다.

시화호 연안해역은 pigments(2.64~6.91mg/m<sup>3</sup>), TSS(16~17.2mg/l), SS(7.5~14.8mg/l)의 분포를 보여주며, 시화호는 pigments(23.01~66.19mg/m<sup>3</sup>), TSS(24.6~87.6mg/l), SS(20.34~38.22mg/l)로 pigments, TSS, SS의 수중 구성성분이 연안해역에 비해 높은 농도분포를 나타내고 있다.

그림 3은 PRR에 의해 측정된  $E_d(\lambda)$ 이고, 그림 4는  $Lu(\lambda)$ 이다. 그림 3과 그림 4를 통해서 시화호는 연안해역에 비해 광량을 많이 흡수하므로써  $Lu(\lambda)$ 가 0~0.2μW/(cm<sup>2</sup>nm)의 범위를 나타내며, 이는 연안해역에서 측정된 수중 광량에 비해 측정된 최대 광량이 1/10 정도로 매우 적은 양의 광량이 관측되고 있다. 또한, 시화호는 연안해역과는 달리 400~500nm에서 용존유기물과 엽록소의 흡광이 높아 0.002 이하의 낮은 반사도(reflectance)를 나타내고 있다.

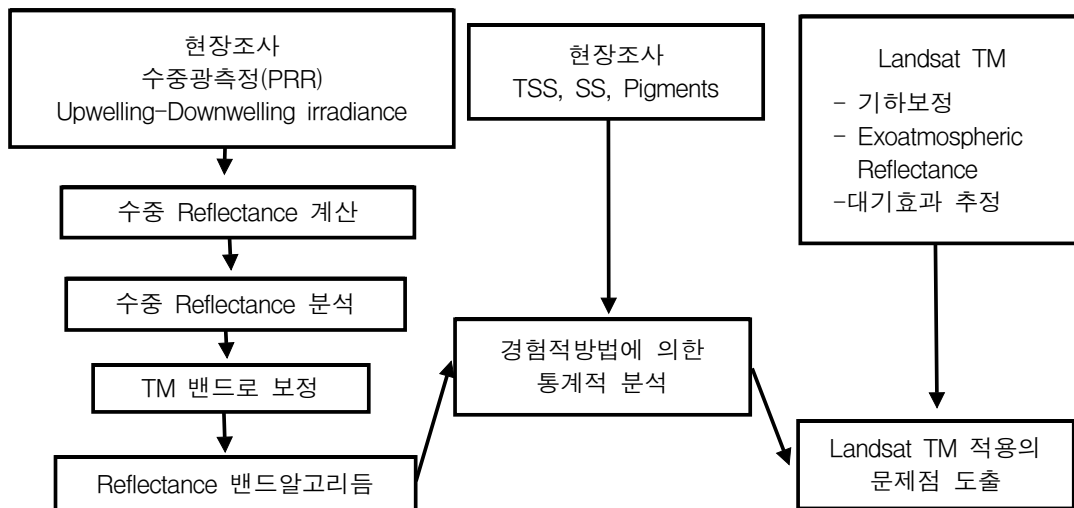
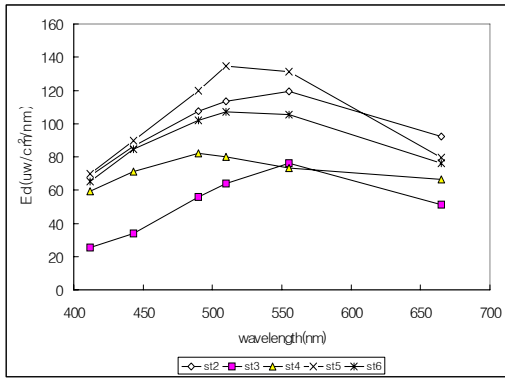
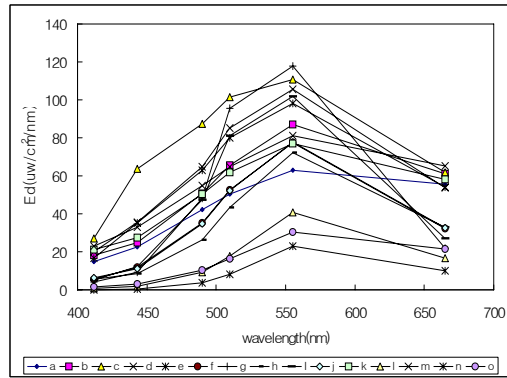


FIGURE. 2 Flow diagram of this research

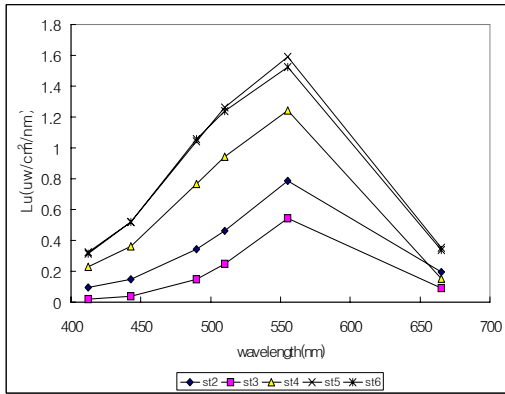


(a)

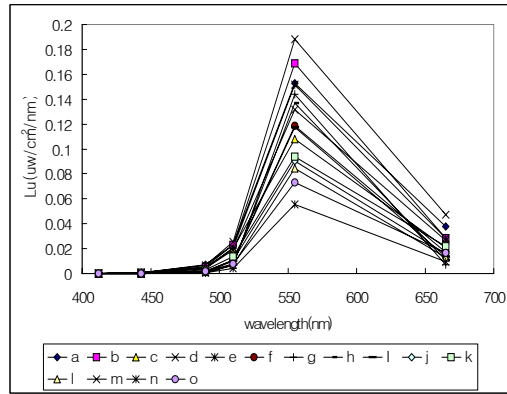


(b)

FIGURE 3. Downwelling irradiance at sampling sites (a) coastal water and (b) Sihwa lake

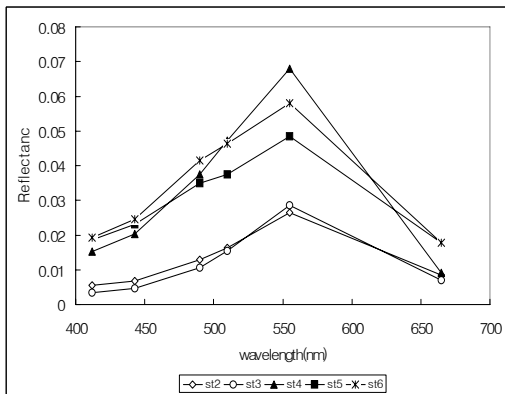


(a)

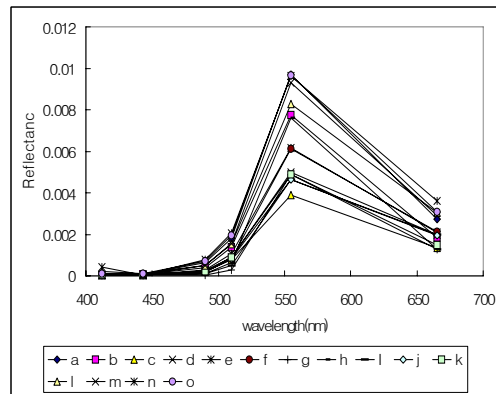


(b)

FIGURE 4. Upwelling radiance at sampling sites (a) coastal water and (b) Sihwa lake



(a)



(b)

FIGURE 5. Reflectance of subsurface water at sampling sites: (a) coastal water and (b) Sihwa lake

이러한 결과는 그림 5의 반사도 분포에서 살펴볼 수 있는 바와 같이 조사정점별 반사도가 수체 내의 엽록소 농도와 용존유기물 농도가 높을수록 정점별로 낮은 반사도를 나타내어 수중 구성성분의 농도레벨에 의해 반사도가 서로 다른 분포로 구분되는 것을 볼 수 있다.

Robinson(1985)은 용존유기물이 우세한 Case 2 water와 부유물질(suspended solids)이 수중 광학 특성에 크게 영향을 미치는 Case 2 water로 수체를 구분하고, 이러한 수중 광학 특성에 따라 나타나는 반사도의 변화 경향을 설명하였는데, 부유물질이 우세한 경우 500 nm에서 최대의 반사도를 나타내고, 부유물질의 농도가 증가할수록 반사도가 증가하는 경향을 나타냈다.

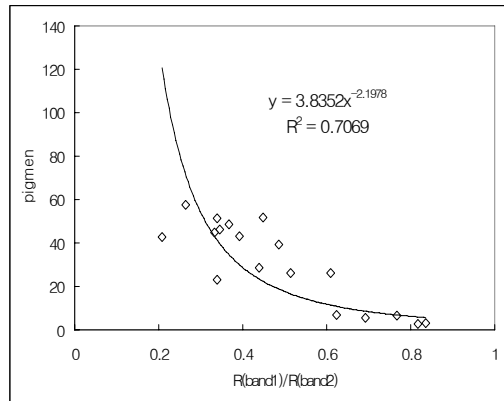
또한, 용존유기물이 수중 광학 특성에 영향을 주로 미치는 수체에서는 400~500nm에서 낮은 반사치를 나타내며, 용존유기물의 농도가 높을수록 반사치가 작아진다고 보고하였다.

그림 6의 (a)는 보정된 TM 밴드 1(450~520nm)과 밴드 2(520~600nm)의 비율에 의한 반사도와 pigments의 관계를 나타낸 것으로 관계식은  $Y = 3.8352 \times (R(\text{band 1})/R(\text{band 2}))^{-2.1978}$  ( $R^2=0.7069$ )이고, 그림 6의 (b)는 밴드 1과 밴드 3(630~690nm)의 비율에 의한 반사도와 pigments의 관계를 나타낸 것으로  $Y = 23.288 \times (R(\text{band 1})/R(\text{band 3}))^{-1.5243}$  ( $R^2=0.8062$ )이다.

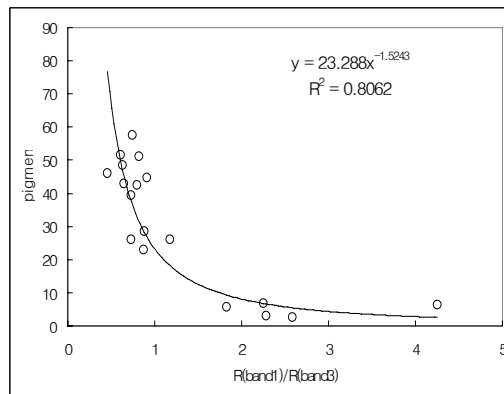
TM 밴드 1은 엽록소의 흡광영역으로 엽록소의 농도가 높을수록 반사도가 작아지는 밴드 영역이며, 밴드 2는 수중의 부유사에 의한 반사도가 반영되어 SS의 농도가 높을수록 반사도가 높아지는 밴드 영역이다.

따라서, SS의 농도가 일정한 분포를 나타낼 경우 또는 SS의 영향을 거의 받지 않는 해양의 경우 CZCS 알고리즘 [  $\log(C) = A+B \log(R(443)/R(550))$ ,  $\log(C) = A'+B' \log(R(520)/R(550))$ ,  $\log(S) = A''+B'' \log(R(550))$ ] (Clark, 1981)과 같이 밴드 1과 밴드 2의 비율은 엽록소의 정량적인 분석을 가능하게 한다.

하지만, 연안해역의 경우 SS농도가 높은 Case 2 Water에 해당하므로 밴드 2에서 SS의 농도에 따른 변화가 나타나고, 이는 엽록소의 추출을 어렵게 한다.



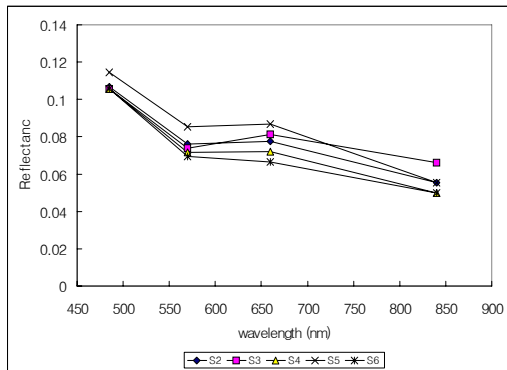
(a)



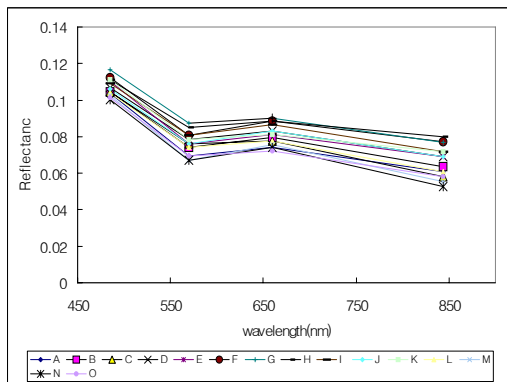
(b)

FIGURE 6. Relationship between PRR reflectance ratio which are converted with TM bands and pigment concentration: (a) coastal water and (b) Sihwa lake

하지만, TM 밴드 3은 SS의 농도에 영향을 적게 받기 때문에 밴드 1과 밴드 3에 의한 결과가 더 좋은 상관관계를 보여주는 것으로 판단되며, Dekker와 Peters(1993)는 Landsat TM에 의한 밴드 알고리즘에서 밴드 1 / 밴드 3이 엽록소 농도를 추정하는데 있어서  $R^2=0.95$ 로 보고하였다.



(a)



(b)

FIGURE 7. Exoatmospheric reflectance of Landsat TM at sampling sites: (a) coastal water and (b) Sihwa lake

그림 7은 Landsat TM의 exoatmospheric reflectance인데 수체에 유입되는 광량을 태양 상수와 태양고도각에 의한 일정한 값으로 주는 경우 위성에서 얻어지는 반사도는 PRR에서 얻어진 수중 광학 반사도 결과와 다른 경향을 나타낸다. 때문에 Landsat TM의 exoatmospheric reflectance에 의한 결과를 바탕으로 한 알고리즘으로는 pigments를 정량적으로 분석해 낼 수 없다. 따라서, TM의 반사도가 아닌 normalized radiance에 의한 TM 영상신호를 그림 6의 계산식에 적용함으로써 연안해역의 TSS와 pigments를 정량적으로 분석할 수 있다고 판단된다.

본 연구결과는 PRR의 수중 광학 측정자료를 Landsat TM 밴드에 일치시켜 얻은 결과이다. 때문에 Landsat TM에 의해 연안해역 수질을 모니터링하기 위해서는 위성에서 얻은 신호를 수체에서 올라오는 신호값으로 보정해 주어야 한다. 이는 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

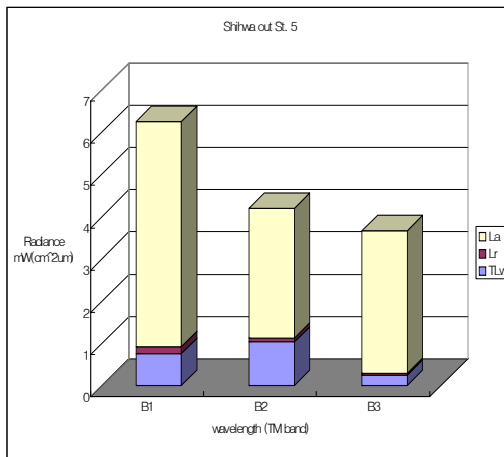
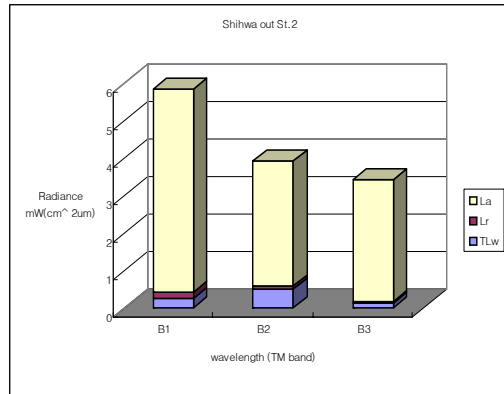


FIGURE 8. Composition of the noise in the radiance obtained by TM data

$$L_s = L_r + L_a + T_{LW} \quad (2)$$

여기서  $L_s$ 는 위성에서 수신된 신호값,  $L_r$ 은 Rayleigh 산란,  $L_a$ 는 에어로졸,  $T$ 는 transmittance,  $L_w$ 는 수체에서 올라오는 신호이다. 대기보정

은 Lr 와 La를 계산하여 Ls에서 빼줌으로서 가능한데, dark pixel을 Case 2 water에서 찾기 어렵기 때문에 TM의 영상 신호를 그림 6의 계산식에 적용할 수 없다.

그림 8은 TM에 수신된 영상신호 중 대기 중의 잡음을 연안해역 정점 2와 정점 5에서 측정된 PRR 자료에 의해 계산된 Lw와 T<sub>LW</sub> (Sohn, 1997)의 구성에 의해 나타낸 것이다. 그림 8의 결과로부터 위성에서 수신된 영상신호의 80~90%는 대기중의 잡음에 의한 오차가 포함된 것을 파악할 수 있다. 따라서, TM의 레이디언스에 의해 연안해역의 TSS와 pigments를 정량화하기 위해서는 대기중의 잡음을 제거하고, 수체에서 각 성분의 광학적인 반응만을 고려할 수 있는 수중광학 측정에서 도출된 알고리즘의 개발이 요구된다.

## 결 론

본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었으며, 향후 연구과제를 함께 제시하였다.

첫째, 동일정점에서 조사된 수중 광량과 수중 구성성분의 성분별 농도를 바탕으로 TM밴드로 보정된 알고리즘은 엽록소와 부유물질의 흡광과 산란에 의한 과장 특성을 명확히 반영하고 있다. 하지만, 시화호와 그 연안해역에서 조사된 엽록소와 부유물질의 농도는 두 지역에서 매우 큰 차이를 나타내고 있어서 각각의 농도 범위에 의한 알고리즘 구성이 향후 연구되어야 할 것이다.

둘째, Landsat TM의 경우 Ed와 Lu의 값을 통한 반사도 산정시 대기효과를 제거할 수 있는 대기보정 방법이 제시되어야 한다.

본 연구에서는 시화호 연안해역의 조사정점에 대한 대기잡음 비율을 계산하였고, 수중에서 올라오는 신호에 비해 대기 잡음이 80% 이상임을 확인하였다.

셋째, TM의 반사도 밴드비율은 엽록소와 부유물질의 흡광역과 산란에 대한 특성을 바

탕으로 관계식을 구성하였으나, TM의 레이디언스 값을 활용한 알고리즘의 구성을 향후 연구과제로 제안할 수 있다.

## 감사의 글

본 연구를 위한 현장관측자료 획득과 분석에 많은 도움을 주신 한국해양연구원 유신재 박사님께 깊은 감사를 드립니다. **KAGIS**

## 참고문헌

- 정종철, 유신재, 김정욱. 1999. 시화호와 연안해역의 부유사 분포 분석을 위한 원격탐사 알고리즘. 한국지리정보학회지 2(2):59-68
- Bagheri, S. and R.A. Dios. 1990. Chlorophyll-a estimation in New Jersey's coastal waters using Thematic Mapper data. International Journal of Remote Sensing. 11(2):289-299.
- Brakel, W.H. 1984. Seasonal dynamics of suspended-sediment plumes from the Tana and Sabaki rivers, Kenya: analysis of Landsat imagery. Remote Sensing of Environment. 16:165-173.
- Dekker, A.G. and S.W. Peters. 1993. The use of the Thematic Mapper for the analysis of eutrophic lakes : a case study in the Netherlands. International Journal of Remote Sensing. 14(5):799-821.
- Doerffer, R., J. Fischer and C. Brockmann. 1989. Analysis of thematic mapper data for studying the suspended matter distribution in the coastal area of the German Bight (North Sea). Remote Sens. Environ. 28:61-73.
- Ekstrand, S. 1992. Landsat TM based quantification of chlorophyll-a during algae blooms in coastal waters. International Journal of Remote Sensing. 13(10): 1913-1926.



- Garcia, C.A.E. and I.S. Robinson. 1991. Chlorophyll-a mapping using Airborne Thematic Mapper in the Bristol Channel (South Gower Coastline). *International Journal of Remote Sensing* 12(10):2073-2086.
- Garcia, M.J. and V. Caselles. 1990. A multi-temporal study of chlorophyll-a concentration in the Albufera lagoon of Valencia, Spain using TM data. *International Journal of Remote Sensing* 11(2):301-311.
- George, D.G. 1997. The airborne remote sensing of phytoplankton chlorophyll in the lakes and terns of the English lake District. *International Journal of Remote Sensing* 18(9):1961-1975.
- Hamilton, M.K., C.O. Davis, W.J. Rhea, and S.H. Pilorz. 1993. Estimating chlorophyll content and bathymetry of lake Tahoe using AVIRIS data. *Remote Sensing of Environment* 44:217-230.
- Harrington, J.A. and F.R. Schiebe. 1992. Remote sensing of lake Chicot, Arkansas : Monitoring suspended sediments, turbidity, and Secchi depth with Landsat MSS data. *Remote Sensing of Environment* 39:15-27.
- Huh, O.K., C.C. Moeller, W.P. Menzel, L.J. Rouse and H.H. Roberts. 1996. Remote sensing of turbid coastal and estuarine waters: A method of multispectral water-type analysis. *Journal of Coastal Research* 12(4):984-995.
- Lathrop, R. G. and T.M. Lillisand. 1991. Testing the utility of simple multi-date TM calibration algorithms for monitoring turbid inland waters. *International Journal of Remote Sensing* 12(10):2045-2063.
- MacFarlane, N. and I.S. Robinson. 1984. Atmospheric correction of Landsat MSS data for a multidata suspended sediment algorithm. *International Journal of Remote Sensing*. 5(3):561-576.
- Mayo, M., A. Gitelson and T.Z. Yacobi. 1995. Chlorophyll distribution in lake Kinneret determined from Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing* 16(1):175-182.
- Reddy, N. A. 1993. Remote sensing mapping of suspended sediments in Krishna Bay Estuary, Andhra, India. *International Journal of Remote Sensing*, 14(11): 2215-2221.
- Ritchie, J.C., C.M. Cooper and J. Yongqing. 1987. Using Landsat multispectral scanner data to estimate suspended sediments in Moon Lake, Mississippi. *Remote Sensing of Environment*. 23:65-81.
- Sohn, B. J. 1997. The first KOMSAT OSMI (LRC) Workshop Technical Report. pp.160-166. **KAGIS**