

연안해역의 투명도 추정을 위한 밴드비율 알고리즘 검증

정 종 철¹

The Validation of Band Ratio Algorithm for Estimation of Transparency of Coastal Area

Jong-Chul Jeong¹

요 약

본 연구에서는 시화호, 경기만, 천수만, 진해만에서 SeaWiFS 밴드영역을 가진 수중광학측정장비에 의해 얻어진 자료를 바탕으로 투명도 알고리즘이 구성되었다. 이를 현장관측치와 비교하여 가장 높은 상관계수를 나타내는 밴드를 찾았다. 수중광 반사도 밴드비율은 $R_{rs}(490/665)$ 의 밴드비율이 실측치와 가장 좋은 상관관계($R^2=0.8188$)를 나타냈다. 현장조사에 의해 얻어진 수중 광학 알고리즘을 위성자료에 적용하기 위해 SeaWiFS 보다 비교적 연안해역을 모니터링하기에 용이한 공간해상력을 가진 Landsat TM의 반사도 자료를 계산하고, 이를 동일시점의 현장관측자료와 비교하였다. 하지만, Landsat TM을 적용한 결과는 실측치와 낮은 상관관계를 나타냈고, 이에 대한 문제점을 제시하였다.

검색어: 투명도, 밴드비율 알고리즘, 연안해역

ABSTRACT

SDD(Secchi disk depth) algorithm were composed of SeaWiFS bands combination using in-water optical data sets obtained Lake Sihwa, Kyungki Bay, Chunsu Bay, and Chinhae Bay. SDD algorithm were compared with in-situ data. Reflectance band ratio, $R_{rs}(490/665)$ had the highest correlation($R^2=0.8188$) with in-situ data. For in-water algorithm applied to satellite data, reflectance band ratios of Landsat TM data were calculated. However, the results of applied Landsat TM had the low correlation, these reason were discussed in this paper.

KEYWORDS: Secchi Disk Depth, Band Ratio Algorithm, SeaWiFS, Coastal Area

2001년 2월 18일 접수 Received on February 18, 2001

¹ 남서울대학교 지리정보공학과 (jjeong@nsu.ac.kr) Dept. of Geoinformatics Engineering, Namseoul University

서 론

수체의 투명도는 수체에 유입되는 빛의 소광 정도와 관계하며, 수체에 포함된 구성성분 중 흡광과 산란의 영향이 클 경우 투명도가 낮다. 따라서, 연안해역과 연안담수호의 투명도는 수질을 평가할 수 있는 평가항목이 될 수 있다.

해양에서 투명도는 가장 손쉽게 수질을 평가할 수 있는 수단으로 이용되었고, 연안해역이나 해양의 부유물질 분포를 평가하는데 활용되어 왔다 (Preisendorfer, 1986; Davies-Colley와 Vant, 1988; Choi와 Kwon, 1998).

투명도는 수중에 유입되는 광량이 수심이 깊어짐에 따라 감소하는 정도와 관계하는데 해수 자체의 흡광 뿐만 아니라 수체에 포함된 유기물과 부유물질에 의해 빛의 소광 정도는 달라진다. 식물플랑크톤의 염록소는 가시영역의 빛을 흡수하여 광합성에 이용하는데 식물플랑크톤의 정량적인 농도 변화와 소광계수와 의 관계를 파악하고자 하는 연구가 진행되어 왔다 (Megard와 Berman, 1989; Arst 등, 1997).

1970년 이후 위성원격탐사에 의한 연안해역과 해양의 환경관측기술이 발전됨에 따라 위성관측 자료를 이용하여 투명도를 평가하는 연구가 진행되었다. Mulhearn(1995)는 Landsat MSS를 이용하여 투명도를 해석하는 방법으로 녹색밴드를 이용하여 16m 이하의 투명도를 해석하였고, Mausel과 Mayo(1991)는 비행기 탑재 다중센서를 이용한 투명도 관측방법을 제시하였다. 특히, Suh 등(1993)은 AVHRR을 국내연안에 적용하였다.

본 연구에서는 1997년 발사되어 해양 및 연안해역을 관측하는데 활용되고 있는 해색 센서인 SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) 밴드영역에서 얻어진 반사도를 이용하여 연안해역의 투명도를 정량적으로 해석하고자 하였다. 이러한 반사도 밴드비율의 관계식을 통해 연안해역의 투명도를 정량적으

로 해석할 수 있는 관계식을 제시하고, 이를 현장의 실측치와 비교함으로써 조사해역의 수질분포를 투명도라는 수질평가항목으로 파악하였다.

연구방법 및 범위

본 연구에서는 투명도 알고리즘을 구축하기 위해 현장조사를 실시하였다. 공간적인 연구범위는 조석의 영향으로 부유사 농도가 높은 경기만, 천수만, 진해만이고(그림 1), 1997년 4월부터 1998년 4월까지 조사하였다(표 1).



FIGURE 1. Location of the study area.

TABLE 1. Observation day and number of sampling sites

Site	Date	No. of sampling site
Kyungki Sihwa	Jun. 1997	30
	Sep. 1997	
	Apr. 1998	
Chunsu	Apr. 1997	25
	Jun. 1997	
Jinhae	Sep. 1997	9
	Mar. 1998	

각 조사정점에서는 수온, 수심, 염분도 등을 동시에 현장 실측하고, 30cm의 원판형 Secchi disk를 이용하여 투명도를 실측하였다.

연안해역의 수중 광학 특성을 측정하기 위하여 SeaWiFS 센서와 동일한 파장대역을 지닌 PRR-600(Biospherical Co.)에 의해 수중에 유입되는 광량(downwelling irradiance: E_d)과 수체로부터 반사와 흡수가 이루어진 후 수면 위로 올라오는 광량(upwelling radiance: L_u)을 측정하였다.

PRR-600은 여섯 개 채널(412, 443, 490, 510, 555, 665nm)을 가지고 있으며, 각 채널은 10 nm의 밴드 폭을 지닌다. PRR-600을 통해 얻은 광량 자료는 식 (1)에 의해 원격탐사 반사도(remote sensing reflectance)를 구하였다. 수심에 따른 유입 광량과 수면으로 올라오는 광량을 수표면 바로 위에서 얻어지는 값으로 보정하여 반사도를 구하였다. 여기서, 빛이 수면을 통과할 때 나타나는 굴절율과 빛의 감쇄 효과를 보정계수를 이용하여 보정하였으며, 본 연구에서는 Mitchell과 Kahru(1997)의 0.54와 1.04의 값을 대기과 해수면에서의 보정계수로 적용하였다.

$$R_{rs}(\lambda, 0^+) = [0.54 \times L_u(\lambda, 0^-)] / [1.04 \times E_d(\lambda, 0^-)] \quad (1)$$

$R_{rs}(\lambda, 0^+)$: remote sensing reflectance just above sea surface

$L_u(\lambda, 0^-)$: upwelling radiance extrapolated to just below sea surface ($\mu W \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ nm}^{-1}$)

$E_d(\lambda, 0^-)$: downwelling irradiance extrapolated to just below sea surface ($\mu W \text{ cm}^{-2} \text{ nm}^{-1}$)

0.54, 1.04: transfer coefficients of the air-sea interface

현장에서 관측된 수중 광학자료를 이용하여 밴드비율 알고리즘을 구성하였고, 이를 위성자료에 적용하기 위해 1997년 6월 16일 Landsat TM(path-row: 116-34, 116-35) 자료를 획득하여 방사보정과 기하보정의 전처리를 하였다.

투명도 알고리즘 도출과 적용

본 연구에서 연고자하는 투명도 알고리즘은 경험적인 방법에 의한 밴드비율 알고리즘이다. 이러한 밴드비율 알고리즘은 가시영역 밴드에서 나타나는 수중 광학적인 특성을 이용한다.

TM, MSS, SPOT 등의 육상관측용 센서들도 단일밴드나 밴드간의 비율에 의해 투명도를 정량적으로 해석하는데 이용되었다(표 2).

Landsat TM은 30m의 공간해상력을 가지고 있어서 경기만이나 시화호의 투명도를 해석하는데 좋은 공간해상력을 지니고 있다. 하지만 가시영역에 3개의 밴드를 지니고 있고, 밴드 폭이 60~100nm로 넓어 해수면에서 올라오는 신호를 관측하기에는 낮은 민감도를 지니고 있다.

본 연구에서 사용된 수중 광학 측정장비인 PRR-600은 SeaWiFS 밴드영역을 가지고 있으며, 이들 6 개 밴드에서 얻어진 수중광학 측정치를 이용하여 밴드역에서 나타내는 반사도를 구하고, 이를 현장관측치와 비교하여 로그 변환된 일차선형식을 구성하였다.

투명도 알고리즘을 도출하기 위한 밴드의 선정은 표 2와 같은 선행연구에서 얻어진 결과와 본 연구에서 현장관측된 결과를 바탕으로 제시하였다. 또한, 표 2에서 제시된 단일밴드에 의한 현장실측 투명도와 밴드별 수중 반사도를 비교하였다.

TABLE 2. Calculation method of Secchi disk depth using TM data

Water body	Data type	Range (m)	Bands	Authors
Green Bay Lake Michigan (USA)	Rrs	0.5-9	2	Lathrop <i>et al.</i> (1991)
Green Bay Lake Michigan, Yellowstone Lake (USA)	Rrs	0.15-9	3/1	Lathrop (1992)
15 Lakes (Netherlands)	DN	0.2- 3.1	3	Dekker & Peters (1993)
60 Lakes (Irelands)	DN	0.3- 4.7	1,2,3,4, 5,7	Reardon, McGarrigle (1989)

Data type : DN, digital number; Rrs, reflectance

분석된 알고리즘은 Landsat TM의 위성자료에 적용되었다. PRR-600의 밴드영역을 통해 얻어진 알고리즘은 보정된 TM 밴드의 동일 밴드 영역에 적용하여 TM에서 얻어진 영상신호를 알고리즘을 통해 계산된 투명도로 산출하였다.

결과 및 고찰

해양의 엽록소를 정량적으로 해석하는데 이용되고 있는 해색센서인 SeaWiFS에서는 위성관측자료로부터 엽록소를 정량적으로 계산해내기 위해 $R_{rs}(443/555)$ 와 $R_{rs}(490/555)$ 의 밴드비율을 이용하고 있다.

본 연구에서는 이러한 밴드비율의 원리를 응용하여 엽록소 농도가 증가함에 따라 투명도는 감소할 것으로 판단되어 $R_{rs}(443/555)$ 와 $R_{rs}(490/555)$ 의 영상신호와 투명도를 비교하여 그림 2와 그림 3에 제시하였다.

443 밴드와 490 밴드는 엽록소의 흡광에 대한 영향을 잘 반영하는 밴드로 부유사 농도가 적은 해역에서 이들 밴드는 투명도를 평가하는데 이용 가능하다.

그림 2와 그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 $R_{rs}(443/555)$ 는 조사지점의 투명도와 0.6387의 결정계수를 나타냈고, $R_{rs}(490/555)$ 의 밴드비율과 투명도를 비교한 결과는 0.7438의 결정계수를 나타내었다.

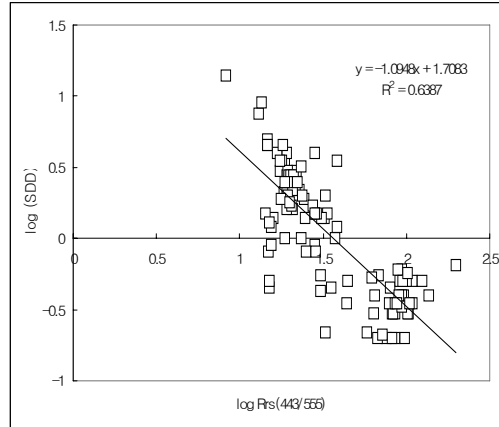


FIGURE 2. Relationship between $\log[R_{rs}(443/555)]$ and $\log(SDD)$

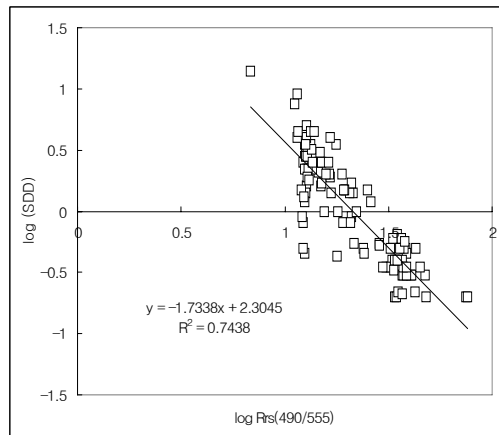


FIGURE 3. Relationship between $\log[R_{rs}(490/555)]$ and $\log(SDD)$

연안해역과 연안담수호는 용존유기물의 농도가 높고 부유사에 의한 산란 특성이 크게 반영되는 지역으로, Mausel과 Mayo(1991)는 부유사 농도가 증가하면 반사치는 증가하지만, 탁도가 증가하여 투명도는 낮아지는 경향을

나타낸다고 하였다. 때문에 그림 2와 그림 3의 결과와 같이 $R_{rs}(555)$ 를 이용한 밴드비율은 투명도를 정량적으로 해석하는데 적합하지 않다.

반면에 그림 4와 그림 5와 같이 부유사 산란 특성의 영향이 적은 $R_{rs}(665)$ 와 용존유기물의 흡광에 대한 영향을 $R_{rs}(443)$ 보다 적게 받는 $R_{rs}(490)$ 의 반사치 비율과 투명도의 관계가 투명도를 정량적으로 해석하는데 더 적합한 것으로 나타났다.

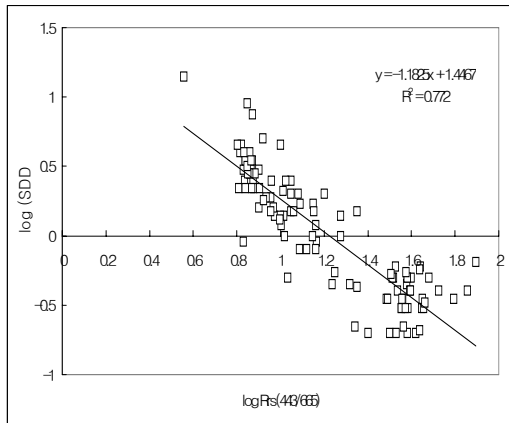


FIGURE 4. Relationship between $\log[R_{rs}(443/665)]$ and $\log(SDD)$

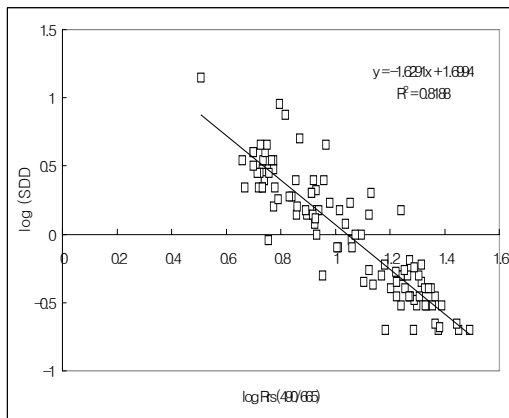


FIGURE 5. Relationship between $\log[R_{rs}(490/665)]$ and $\log(SDD)$

$R_{rs}(443/665)$ 의 밴드비율과 실측 투명도를 비교한 결과는 0.772의 결정계수를 나타냈고,

$R_{rs}(490/665)$ 는 투명도와 0.8188의 결정계수를 나타내고 있어서 $R_{rs}(490/665)$ 의 밴드비율이 조사지역의 투명도를 추정하는데 적합하다고 판단된다.

이와 같은 투명도와 반사치 밴드비율과의 관계를 표 3에 정리하여 제시하였다. 표 3에서 볼 수 있는 바와 같이 $R_{rs}(490/665)$ 의 밴드비율과 투명도의 관계가 다른 조합의 밴드비율에 비해 가장 높은 결정계수를 나타내고 있고, 엽록소의 흡광에 의한 영향이 투명도(Secchi disk depth: SDD)에 크게 나타나고 있어서 투명도 알고리즘으로 $\log(SDD) = 1.69 - 1.629 \log[R_{rs}(490/665)]$ 의 관계식을 얻었다.

TABLE 3. Equation of the reflectance ratio and Secchi disk depth

Band ratio	Equation	r^2
$R_{rs}(443/555)$	$Y = -1.0948X + 1.708$	0.6387
$R_{rs}(490/555)$	$Y = -1.7330X + 2.300$	0.7438
$R_{rs}(555/443)$	$Y = 2.6390X - 1.763$	0.6565
$R_{rs}(555/490)$	$Y = 3.0030X - 2.320$	0.7440
$R_{rs}(443/665)$	$Y = -1.1825X + 1.446$	0.7720
$R_{rs}(490/665)$	$Y = -1.6290X + 1.690$	0.8188
$R_{rs}(665/443)$	$Y = 1.5530X - 1.348$	0.7838
$R_{rs}(665/490)$	$Y = 1.4900X - 1.513$	0.7772

투명도는 Prisenrdorfer(1986)가 설명하는 바와 같이 인간의 시각적인 관측으로 이루어지기 때문에 개인적인 시각능력의 차이에 의한 실측오차가 발생하고, 관측시점에 따른 태양광의 세기와 태양고도에 따라 측정오차가 나타난다. 특히, 수질오염이 심각한 연안해역이나 연안담수호에서는 1m 이하의 투명도가 관측되고 있어서 이러한 조사지점은 수중 구성물질의 흡광과 산란 특성에 의한 투명도와 반사치의 관계를 설명하기 어렵다.

현장의 실측 투명도와 반사도 밴드비율 관계식을 통해 계산된 투명도를 그림 6에 제시하였다. 실측치와 계산치는 0.6187의 결정계수를 나타냈다. 그림 6에서 다섯 정점의 투명도는 실측치와 계산치에 대한 오차가 커서 전 조사지점의 RMSE(root mean square error)가

1.7855m의 값을 나타냈다.

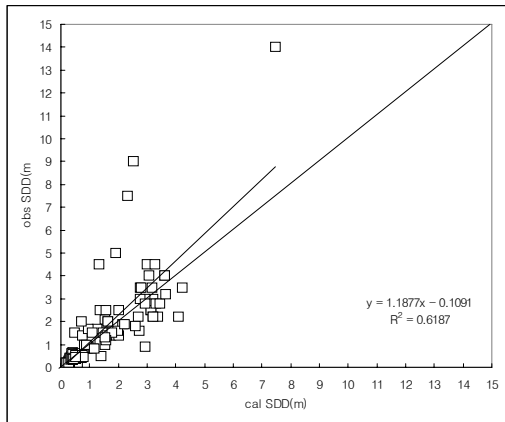


FIGURE 6. Relationship between calculated SDD and observed SDD using SDD algorithm

이들 정점은 천수만과 진해만에서 관측된 정점으로 엽록소 농도에 비해 부유사 농도가 커서 반사도가 엽록소 농도에 의한 소광보다는 부유사에 의한 탁도의 영향으로 그림 6과 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다.

본 연구지역에서는 6m 이상의 투명도가 관측된 정점에서 4~5m의 실측치와 계산치 오차가 발생하였고, 본 연구지역과 같이 부유사 농도가 높은 연안해역은 밴드비율에 의한 관계식을 적용하여 투명도를 정량적으로 해석할 때 5m 이하의 투명도를 추정하는데 적합하였다.

이와 같은 결과는 경험식에 의한 반사도 밴드비율 알고리즘이 가지는 한계점이다. 본 연구 조사지역에서 구성된 투명도 알고리즘은 투명도가 낮은 혼탁한 해역의 조사정점에 의한 현장 실측치와 수중 광학 반사도가 비교되어 구성된 것으로, 진해만에서 실측된 투명도 14m의 맑은 해역에서의 투명도와 반사도의 특성은 본 연구 결과 제시된 투명도 알고리즘에서 반영되지 못하여 투명도 5m 이상의 계산치는 실측치와 큰 오차를 나타내고 있다.

현장에서 관측된 수중 알고리즘을 적용하기 위해 시화호와 경기만에서 실측된 투명도와 Landsat TM에 의한 계산치를 비교하여 그

림 7에 제시하였다.

Landsat TM은 SeaWiFS보다 밴드 폭이 넓어 해석에 대한 민감도가 낮지만, 30m의 공간해상력을 지니고 있어서 시화호와 같은 연안해역의 투명도를 평가하는데 이용 가능한 위성자료이다.

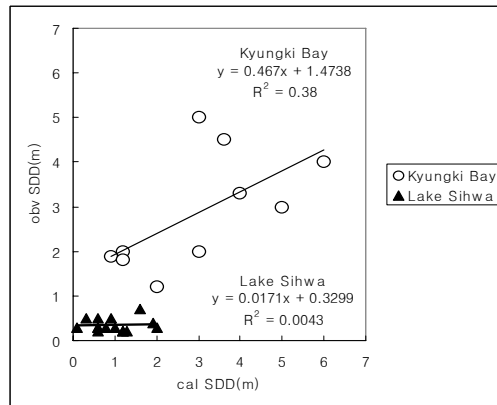


FIGURE 7. Relationship between observed SDD and calculated SDD using TM data of Kyungki Bay and Lake Sihwa area

시화호와 경기만에서 투명도는 결정계수 0.6187을 나타내고 있으나, RMSE는 1.047m로 시화호에서 관측된 투명도의 실측치가 1m 이하의 낮은 투명도를 나타내고 있는 점을 고려할 때, 실측치와 계산치의 적절한 평가가 어렵다. 또한, 그림 7에 제시된 바와 같이 시화호의 투명도는 모든 정점에서 1m 이하의 실측치를 나타내고 있는데, 투명도 알고리즘에 의해 계산된 TM 자료의 계산치는 다섯 개 정점에서 1m 이상의 계산치를 나타내고 있다.

수중 광학측정을 통해 얻어진 실측 투명도와 알고리즘을 통해 계산된 투명도를 비교한 결과(그림 6)에 비해, Landsat TM을 통해 얻어진 투명도 값의 오차가 크게 나타나는데는 다음과 같은 원인을 제시할 수 있다.

첫째, Landsat TM은 육상관측을 목적으로 개발된 센서이므로 해수면에서의 미약한 신호를 분석해낼 수 있는 민감도를 지니고 있지 못하다.

둘째, 해수면에서 올라오는 신호와 대기중

의 에어로졸에 의한 신호를 구분해내기 위해서는 대기보정에 의한 영상자료 처리가 요구되나 Rayleigh 산란과 Mie 산란과 같은 대기의 영향을 제거하기 어렵고, Landsat TM의 경우 대기효과를 정량적으로 산출하기 위한 방법이 제시되지 못하고 있는 형편이다.

셋째, 시화호와 경기만과 같은 연안역의 경우 높은 용존유기물 농도와 엽록소 농도에 의해 TM 밴드영역에서 얻어진 영상신호와 투명도가 오차를 유발하고 있다. 또한, 시화호의 경우 투명도가 1m 이하의 낮은 값으로 분포하고 있고 현장실측에서 인간의 시각에 의존하여 관측치를 획득하기 때문에 투명도 실측간의 오차가 나타난 것으로 판단된다.

현재 해색센서인 SeaWiFS가 발사되어 관측자료를 제공하고 있으나, SeaWiFS의 공간 해상력은 1.1km로 시화호와 경기만, 천수만과 같은 연안해역의 관측이 어렵다. 또한 현재 운행중인 지구관측위성 중 시화호와 경기만, 천수만과 같은 연안해역을 관측하기에 적합한 해색센서가 없는 실정이다. 따라서, 본 연구는 공간해상력(30~50m)과 분광해상력(가시영역에 해양관측을 위한 민감도를 가지고 수중구성성분의 흡광과 산란 효과를 비교해 낼 수 있는 5~6개의 밴드)이 연안관측에 적합한 센서의 개발과 활용을 위한 선행연구이다.

감사의 글

본 연구를 위한 관측자료 획득에 많은 도움을 주신 한국해양연구원 유신재 박사님과 MEDL 연구실 연구원들에게 깊은 감사를 드립니다. **KAGIS**

참고문헌

Choi, Y. K. and J. N. Kwon. 1998. Seasonal variation of transparency in the southeastern Yellow Sea. J. Korean Fish. Soc. 31(3): 323-329.

Davies-Colley, R. J. and W. N. Vant. 1988. Estimation of optical properties of water from Secchi disk depths. Water Research Bulletin 24(6):1329-1335.

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.

Jeong, J.C. 1999. Multi-temporal remote sensing data analysis using principal component analysis. J. of the KAGIS 2(3):71-80.

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.

Lathrop, R. G. 1992. Landsat Thematic Mapper monitoring of turbid inland water quality. PE&RS 58(4):465-470.

Mausel, P.W. and C.Y. Mayo. 1991. Insights into Secchi transparency through computer analysis of aerial multispectral video data. International Journal of Remote Sensing. 12(12):2485-2492.

Mulhearn, P. J. 1995. Landsat reflectivities versus Secchi disc depths. International Journal of Remote Sensing. 16(2):257-268.

Megard, R.O. and T. Berman, 1989, Effects of algae on the Secchi transparency of the southeastern Mediterranean Sea. Limnology and Oceanography 34(8):1640-1655.

Presindorfer, R. W. 1986. Secchi disk science: Visual optics of natural waters. Limnology and Oceanography 31(5):909-926.

Suh, Y. S., S. B. Han, and Y. Q. Kang. 1993. Estimation of transparency from the AVHRR channel 1 digital number of NOAA satellite in the southeastern Yellow Sea. J. of KSRS, 9(2):1-5. **KAGIS**