

# 우리나라 해역 특성에 맞는 수중에서의 하향 방향의 감쇠계수 알고리즘 ( $K_d$ algorithm) 개발

## Development of the diffuse attenuation coefficient for down-welling irradiance ( $K_d$ ) algorithm around the Korean Sea

민지은<sup>1\*</sup>, 유주형<sup>1</sup>, 안유환<sup>1</sup>, 이규성<sup>2</sup>

Jee-Eun Min, Joo-Hyung Ryu, Yu-Hwan Ahn, Kyu-Sung Lee

한국해양연구원 해양위성연구단  
경기도 안산시 상록구 사동 1270  
E-mail) [jemin@kordi.re.kr](mailto:jemin@kordi.re.kr)

인하대학교 지리정보공학과<sup>2</sup>

### 요약

수중에서의 하향 방향의 감쇠 계수 (Diffuse attenuation coefficient of down-welling irradiance,  $K_d$ )에 대한 연구는 상층 해양에 대한 열전달, 수중에서의 광합성 및 다른 생물학적 과정에 대한 연구, 해양 일차 생산력 추정, 대양 및 연안에서의 탁도 추정 등에 대한 연구의 보조 자료로서 해양원격탐사를 포함한 해양에 대한 연구에 매우 중요한 요소이다. 우리나라는 세계 최초의 정지궤도 해색 센서인 Geostationary Ocean Color Imager (GOCI)를 2008년 말에 통신해양기상위성 (COMS, Communication Ocean and Meteorological Satellite)에 탑재하여 쏘아 올릴 계획에 있다. 이 센서는 매일 한 시간 간격으로 한반도 주변 해역을 8회 이상 관측할 계획에 있다. 따라서 기존의 해색 센서들에 비해서 시간 해상도가 향상되기 때문에 해양 환경 모니터링에 있어서 많은 도움이 될 것으로 예상된다. 본 연구에서는 앞으로 운영될 GOCI 센서에 대한 수중에서의 하향 방향의 감쇠계수 (The diffuse attenuation coefficient of down-welling irradiance,  $K_d$ ) 알고리즘을 현장 관측 값을 이용하여 미리 만들어 보고 이를 현재의 대표적인 해색 센서인 SeaWiFS 영상의  $K_d(490)$  product와 비교하여 보았다.

Key word : Diffuse attenuation coefficient for downwelling irradiance ( $K_d$ ),  $K_d(490)$  algorithm, SeaWiFS, Yellow Sea

### 1. 서론

The diffuse attenuation coefficient for down-welling irradiance ( $K_d$ )는 해수 속으로 입수된 하향 방향의 태양에너지 (down-welling irradiance)가 수심이 깊어

짐에 따라 소산되는 정도를 나타내는 계수이다. 수중에서의 하향 방향의 감쇠 계수 (Diffuse attenuation coefficient for down-welling irradiance,  $K_d$ )에 대한 연구는 수직적으로 분포하는 해수에 대한

광학적 구조를 표현하는 기초를 제공하기 때문에 해양 분야의 연구에서 매우 중요한 역할을 한다. Chang and Dickey (2004), Lewis et al. (1990), Morel and Antonie (1994) and Zaneveld et al. (1996) 등은  $K_d$ 와 상층부 해양에서의 열전달과의 관계에 대한 연구를 하였다. 또한 Marra et al. (1995), McClain et al. (1996), Platt et al. (1988), Sathyendranath et al. (1989) 등은  $K_d$  계수와 해양에서의 광합성 및 다른 생물적 현상에 대한 상관관계에 대한 연구를 하였고, Jerlov (1976) 와 Kirk (1986)은 대양과 연안의 탁한 해역에서의  $K_d$ 에 대하여 연구하였다. 이처럼  $K_d$  coefficient는 상층 해양에 대한 열전달, 수중에서의 광합성 및 다른 생물학적 과정에 대한 연구, 해양 일차 생산력 추정, 대양 및 연안에서의 탁도 추정 등에 대한 연구의 보조 자료로서 해양원격탐사를 포함한 해양에 대한 연구에 매우 중요한 요소이다.

이러한 필요성 때문에 오래전부터  $K_d$ 에 대한 연구가 세계적으로 많이 이루어지고 있고, NASA에서는 SeaWiFS 해상색 센서에 맞는  $K_d$  알고리즘을 개발하여 사용하고 있다. 하지만 우리나라의 경우, 우리나라 해역 특성에 맞는  $K_d$  알고리즘에 대한 연구는 아직 이루어지고 있지 않다.

우리나라는 세계 최초의 정지궤도 해상색 센서인 Geostationary Ocean Color Imager (GOCI)를 2008년 말에 통신해양기상위성 (COMS, Communication Ocean and Meteorological Satellite)에 탑재하여 쏘아 올릴 계획에 있다. 따라서 본 연구에서는 앞으로 운영될 GOCI 센서에 활용될 수 있도록 우리나라 주변 해역 특성에 맞는  $K_d$  알고리즘을 미리 구축하여 보고 기존의 대표적인 알고리즘인 NASA의 SeaWiFS 알고리즘과 비교하여 보았다.

## 2. 연구지역 및 방법

연구 지역은 남한의 서해 연안 중간

부분에 위치한 새만금 지역이다 (Fig. 2). 서해는 중국대륙 동해 연안과 우리나라 서해 연안으로 둘러싸여 있는 반 폐쇄적인 해역으로, 육지로부터 다량의 부유퇴적물을 공급하는 강과 하천이 많이 인접해 있는 해역이다. 또한 강한 조류가 발생하여 저층의 부유퇴적물들이 표층으로 재부유하는 매우 탁한 해역이다. 따라서 부유퇴적물의 공급원이 많고 다양하기 때문에 시·공간적으로 부유물 농도 분포가 다양하게 나타난다 (최용규와 권정노, 1998).

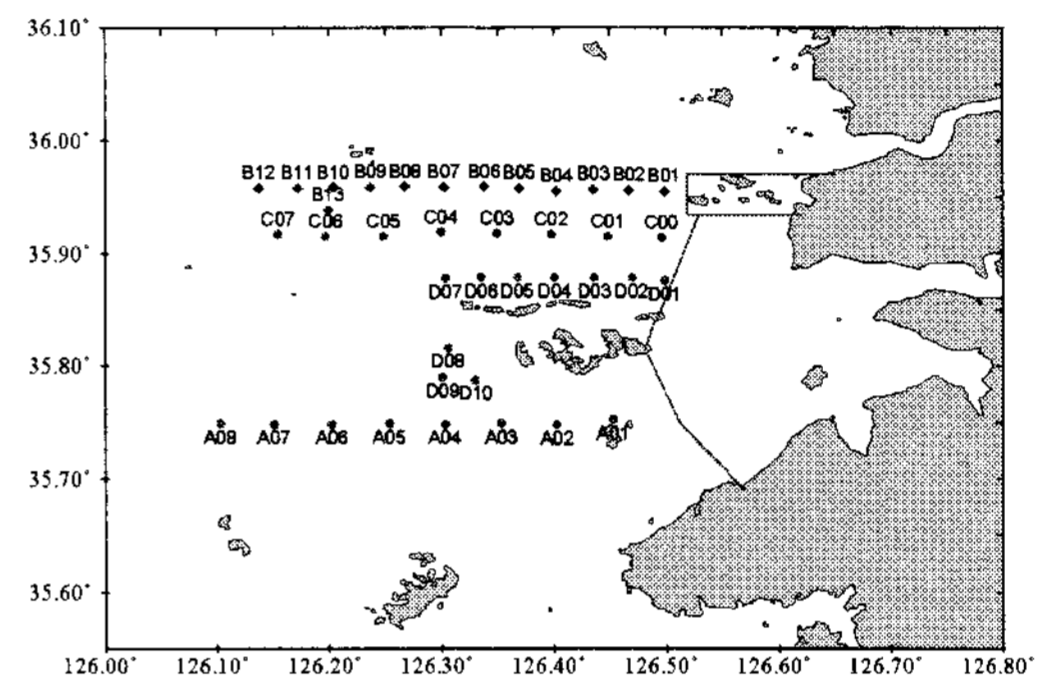


Figure 1. Map of the Saemangeum coastal area showing sampling points/stations during 19~22 September, 2006.

이 해역에서 해양 광학적 자료와 해양 환경적 자료를 얻기 위하여 2006년 9월 19 ~ 22일, 4일 동안 총 39개 정점에서 현장관측을 실시하였다.  $K_d$  알고리즘을 개발하기 위해서는 해수 속에서의 수직적 광 관측 자료와 해수 표면에서의 여러 가지 광 관측 자료가 필요하다. 따라서 해수 속에서의 수직적 광을 관측하기 위하여 TriOS라는 광학 관측기기를 사용하였는데 이 관측 장비는 물속에서의 down-welling irradiance ( $E_d$ )와 up-welling irradiance ( $E_u$ ), up-welling radiance ( $L_u$ )를 관측할 수 있는 프로파일링 기기이다. 해수 표면에서의 광학적 관측을 위해서는 ASD라는 field spectroradiometer를 사용하였다. ASD를 이용하여 down-welling irradiance ( $E_d$ )와 total water leaving radiance ( $L_{wT}$ ), sky radiance ( $L_{sky}$ )를 측정하였다.

해수 수중에서의 빛 에너지의 소멸은 아래의 수식 (1)와 같이 지수함수 적으로 표현할 수 있다.

$$E_d(z) = E_d(0^-) e^{-\int_0^z dz K_d(z)} \quad (1)$$

여기서,  $E_d$ 는 down-welling irradiance이고,  $z$ 는 수심,  $K_d$ 는 spectral diffuse attenuation coefficient이다. 0는 해수 표면 바로 아래의 수심을 의미하는 것이다. 위의 수식 (1)로부터  $K_d$ 는 두 수심 사이의  $E_d$ 의 값의 상대적인 감소량을 나타내는 아래의 수식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

$$K_d = -\frac{1}{(z_2 - z_1)} \ln \left[ \frac{E_d(z_2)}{E_d(z_1)} \right] \quad (2)$$

본 연구에서는 위의 수식 (2)를 이용하여 관측된  $E_d$  값으로부터  $K_d$ 를 유추하였다.

$K_d$  알고리즘을 개발하는 방법은 크게 다음의 세 가지로 구분될 수 있다 (Lee *et al.*, 2005).

<해색원격탐사자료로부터  $K_d$ 추정 방법>  
 ▷ **Direct One-Step Empirical Relationship for  $\bar{K}_d(490)$**

:  $L_w$  또는  $R_{rs}$  값으로부터  $\bar{K}_d(\lambda)$  값을 유추 (Empirical approach)

▷ **Two-Step Empirical Algorithm with <chl> as an Intermediate Link**

:  $R_{rs}$  값으로부터 <chl> 값을 계산한 다음, <chl> 값을 이용하여  $\bar{K}_d(\lambda)$  값을 유추 (Empirical approach)

▷ **Semianalytical approach**

: Semianalytical model을 이용하여  $R_{rs}$  값을 입력 값으로 하여  $a$ ,  $b_b$  값을 얻어낸 다음,  $a$ 와  $b_b$  값으로부터  $\bar{K}_d(\lambda)$ 를 유추

이러한 세 가지 방법 중에서 본 연구에서는 경험적 방법인 첫 번째 방법을 사용하였다. 첫 번째 방법은 현장 관측을 통하여 얻어진  $L_{wN}$  또는  $R_{rs}$  값을 이용하여  $K_d(\lambda)$  값을 유추하는 방법으로써 이 연구에서는  $K_d(\lambda)$ 를 추정하기 위한 Key가 되는 값인  $K_d(490)$  (Austin and Petzold (1981 and 1986))에 대한 알고리즘을 개발하였다.  $K_d(490)$  알고리즘은 아래와 같은 수식을 이용하여 구할 수 있다.

$$K_d(490) = K_w(490) + A \left( \frac{L_w(\lambda_1)}{L_w(\lambda_2)} \right)^B \quad (3)$$

여기서 Austin and Petzold (1981)의 연구에 따라,  $\lambda_1 = 443 \text{ nm}$ ,  $\lambda_2 = 550 \text{ nm}$ 이고,  $K_w(490)$ 은 490 nm에서의 순수한 해수의 attenuation coefficient를 나타내고 (Austin and Petzold, 1981; Morel, 1988; Smith and Baker, 1981), A와 B는 상수이다.

위의 방법을 이용하여 Mueller and Trees (1997)와 Mueller (2000)은 OrbView-2 위성에 탑재된 해색센서인 SeaWiFS 위성영상으로  $K_d(490)$  값을 추정하는 알고리즘을 다음과 같이 개발하였다.

$$K_d(490) = K_w(490) + 0.15645 \left( \frac{L_{wN}(490)}{L_{wN}(550)} \right)^{-1.5401} \quad (4)$$

여기서  $K_w(490)$ 은  $0.016 \text{ m}^{-1}$ 이다 (Mueller (2000)).

본 연구에서는 우리나라 해역에 특성에 맞는  $K_d$  알고리즘을 수식 (3)을 기반으로 하여 개발하였고, 위의 수식(4)와 비교, 분석 하여 보았다.

### 3. 연구 결과 및 토의

현장 관측을 통해서 얻어진  $K_d$  값은 아래의 Figure 2와 같다. 각 정점별로 수심 0 m와 20 m의  $E_d$  관측 값을 이용하여

수식 (2)를 이용하여  $K_d$  값을 유추하였다. 각 정점별로 비슷한 형태의 스펙트럴 값을 나타내는 것을 알 수 있었다. 전체적인 형태는 575 nm를 중심으로 파장이 짧아질수록 값이 증가하였고, 또한 파장이 길어질수록 증가하는 패턴을 나타내었다. 575 nm 이후 파장대에서의 증가 패턴은 해수의 일반적인 성격으로 설명될 수 있다 (Smith and Baker, 1981). 575 nm 이전의 파장대 부분의 파장이 짧아질수록 증가하는 패턴은 우리나라 서해 연안의 클로로필과 부유물질 및 용존유기물질 등의 높은 농도 때문에 이들의 흡광 특성에 대한 영향으로 볼 수 있겠다.

또한 Figure 3은 각 관측정점에서의 규격화된 수출 광량 (Normalized water-leaving radiance,  $L_{wN}$ )을 나타낸다.

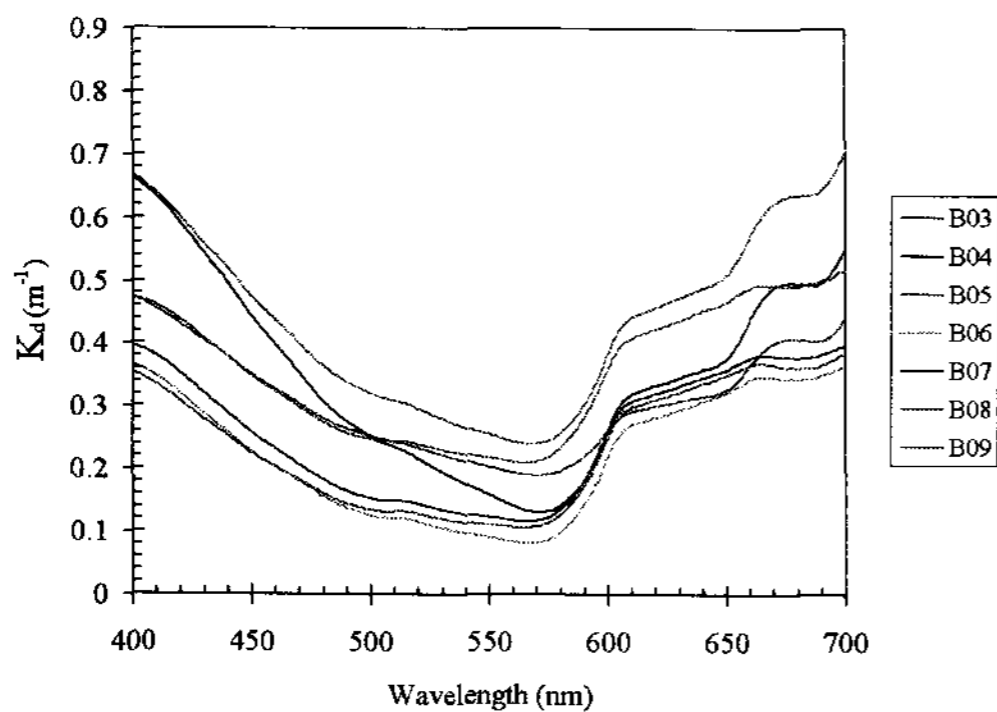


Figure 2. Spectral diffuse attenuation coefficient ( $K_d$ ) for each stations.

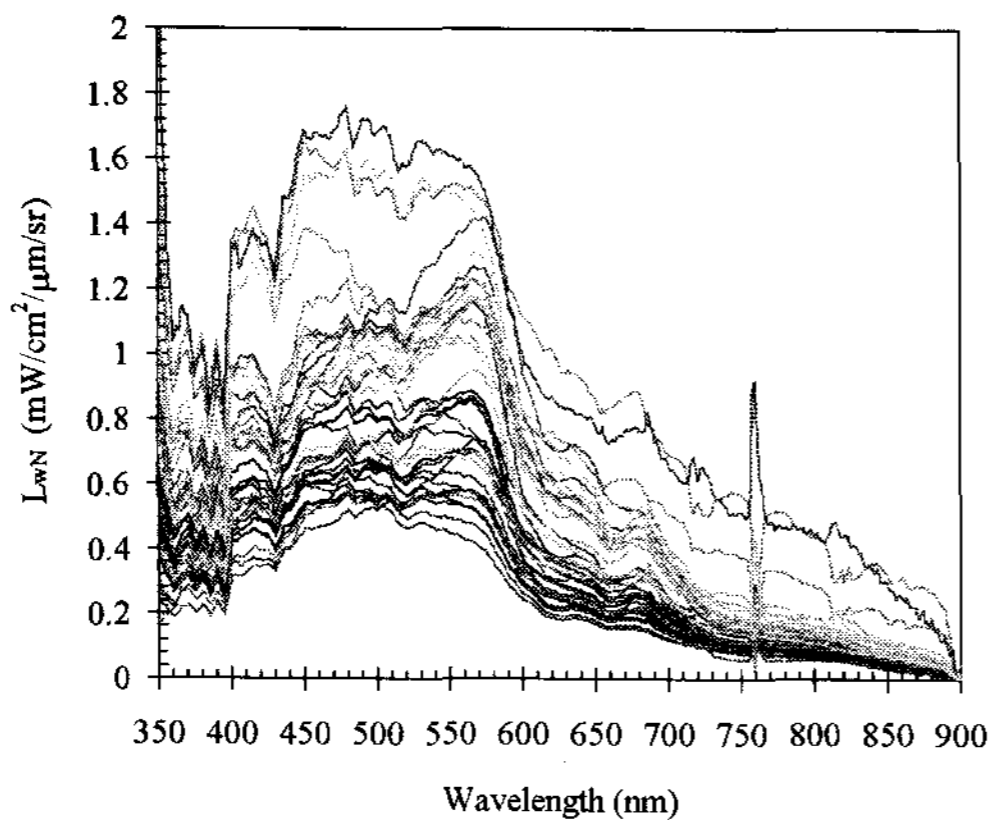


Figure 3. Normalized water-leaving radiance ( $L_{wN}$ ) for each stations.

이렇게 현장에서 얻어진  $K_d$ 와  $L_{wN}$  값을 이용하여  $K_d$  algorithm을 수식 (3)을 이용하여 개발하였다. 아래의 수식 (5)는 결과로 얻어진  $K_d(490)$  알고리즘을 나타내고, Figure 5는 본 연구에서 개발된 알고리즘 (실선)과 SeaWiFS  $K_d(490)$  알고리즘 (점선)을 비교하여 본 결과이다.

$$K_d(490) = 0.016 + 0.2206 \left( \frac{L_{wN}(490)}{L_{wN}(555)} \right)^{-2.791} \quad (5)$$

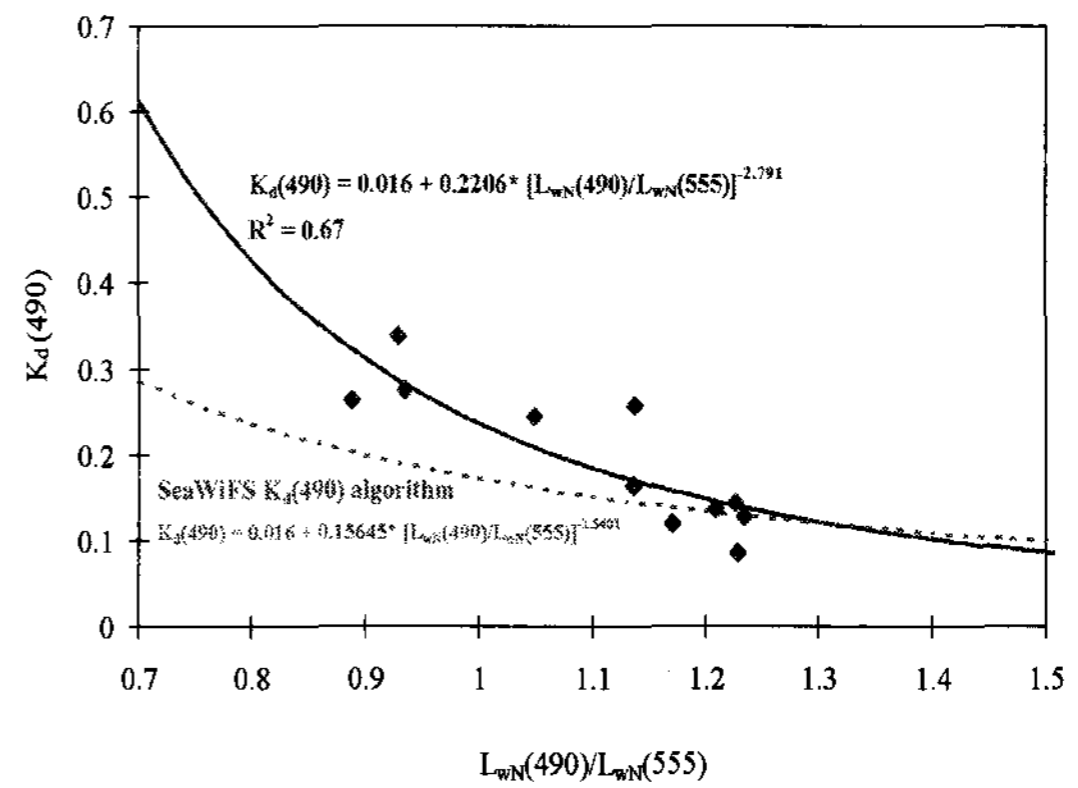


Figure 4. comparison of  $K_d(490)$  versus the ratio of normalized water-leaving radiances ( $L_{wN}$ ) at 490 and 555 nm.

그 결과, 우리나라 서해 연안 관측 자료를 이용하여 얻은 알고리즘이  $L_{wN}(490)/L_{wN}(555)$ 의 값이 작아질수록 SeaWiFS 알고리즘에 비해서 높은  $K_d$  값을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. Case-II water 해역의 특성을 띄는 우리나라 서해 연안의 경우에는 기존의 SeaWiFS  $K_d(490)$  알고리즘이 맞지 않는다는 것을 알 수 있었다. 비록 10개 밖에 안 되는 샘플을 이용하여 만든 알고리즘이기 때문에 기존의 알고리즘과 정확한 비교는 불가능 할 수 있겠지만 기존의 SeaWiFS  $K_d$  알고리즘의 경우에는 대양에서 얻어진 데이터를 이용하여 구축된 것이기 때문에 우리나라 서해 연안과 같이 탁도가 높은 국소적 해역에 맞지 않기 때문일 것이다. 따라서 본 연구는 이렇게 기존의 알고리즘의 적용이

불가능한 우리나라 연안 해역에 대한  $K_d$  알고리즘을 개발하였다는 것에 의미가 있을 것이다. 물론 현장 관측 자료가 매우 적다는 문제점이 있지만, 이는 앞으로 계속적인 현장 관측과 업데이트를 통하여 해결해 나갈 예정이다.

우리나라는 현재 세계 최초의 정지궤도 해상 색 센서 (Geostationary Ocean Color Imager, GOCI)를 2008년 말에 발사할 계획을 가지고 있다. 이에 따라 우리나라 해역 특성에 맞는 여러 가지 알고리즘이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구는 이러한 필요성에 맞추어 수행되었고, 앞으로 아래의 Figure 5의 SeaWiFS  $K_d$  product처럼 GOCI  $K_d$  product로 제공될 수 있을 것이다.

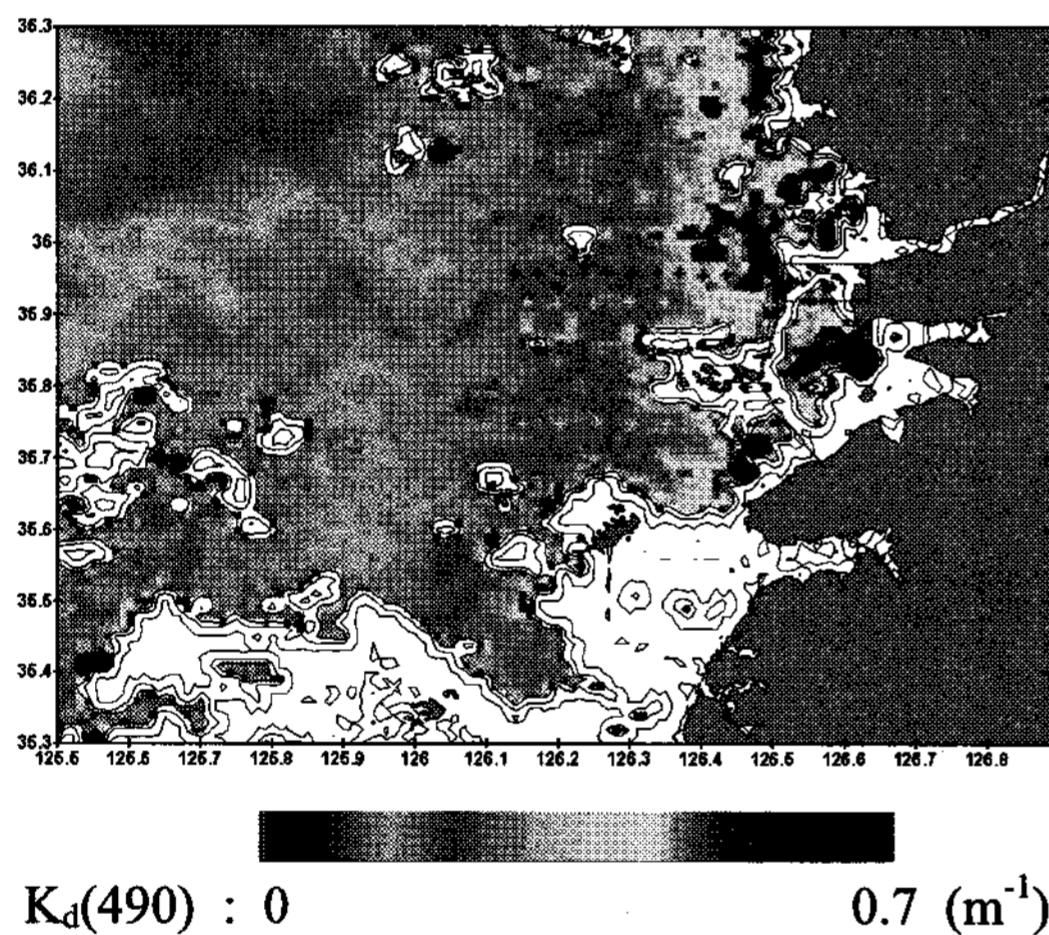


Figure 5. SeaWiFS  $K_d$  distribution map around the Saemangeum sea area on 21 September 2006.

#### 참고 문헌

최용규와 권정노 (1998), 황해 남동해역 투명도의 계절 변화, *한국수산학회지*, 31권, 3호, pp. 323-329.

Austin, R. W., and T. J. Petzold (1981), The determination of the diffuse attenuation coefficient of sea water using the coastal zone color scanner,

in *Oceanography From Space*, edited by J. F. R. Gower, pp. 239-256, Springer, New York.

Austin, R. W., and T. J. Petzold (1986), Spectral dependence of the diffuse attenuation coefficient of light in ocean waters, *Optical Engineering*, 25, pp. 473-479.

Chang, G. C., and T. D. Dickey (2004), Coastal ocean optical influences on solar transmission and radiant heating rate, *Journal of Geophysical Research*, 109, C01020, doi:10.1029/2003JC001821.

Jerlov, N. G. (1976), *Marine Optics*, Elsevier, New York.

Kirk, J. T. O. (1986), *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. Cambridge Univ. Press, New York.

Lee, Z.-P., M. Darecki, K. L. Carder, C. O. Davis, D. Stramski, and W. J. Rhea (2005), Diffuse attenuation coefficient of downwelling irradiance: An evaluation of remote sensing methods, *Journal of Geophysical Research*, 110, C02017, doi:10.1029/2004JC002573.

Marra, J., C. Langdon, and C. A. Knudson (1995), Primary production, water column changes, and the demise of a *Phaeocystis* bloom at the Marine Light-Mixed Layers site (59\_N, 21\_W) in the northeast Atlantic Ocean, *Journal of Geophysical Research*, 100, pp. 6,633-6,644.

McClain, C. R., K. Arrigo, K.-S. Tai, and D. Turk (1996), Observations and simulations of physical and biological processes at ocean weather station P, 1951-1980, *Journal of Geophysical Research*, 101, pp. 3,697-3,713.

- Morel, A. (1988), Optical modeling of the upper ocean in relation to its biogenous matter content (case 1 waters), *Journal of Geophysical Research*, 93, pp. 10,749-10,768.
- Morel, A., and D. Antoine (1994), Heating rate within the upper ocean in relation to its bio-optical state, *Journal of Physical Oceanography*, 24, pp. 1652-1665.
- Mueller, J. L. (2000), SeaWiFS algorithm for the diffuse attenuation coefficient,  $K(490)$ , using water-leaving radiances at 490 and 555 nm, in *SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, part 3*, edited by S. B. Hooker, pp. 24-27.
- Mueller, J. L. and C. C. Trees (1997), Revised SeaWiFS prelaunch algorithm for diffuse attenuation coefficient  $K(490)$ , *NASA Tech. Memo.*, TM-104566, 41, pp. 18-21.
- Platt, T., S. Sathyendranath, C. M. Caverhill, and M. Lewis (1988), Ocean primary production and available light: Further algorithms for remote sensing, *Deep Sea Research*, 35, pp. 855-879.
- Sathyendranath, S., T. Platt, C. M. Caverhill, R. E. Warnock, and M. R. Lewis (1989), Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model, *Deep Sea Research*, 36, pp. 431-453.
- Smith, R. C., and K. S. Baker (1981), Optical properties of the clearest natural waters, *Applied Optics*, 20, pp. 177-184.
- Zaneveld, J. R. V., J. C. Kitchen, and H. Pak (1981), The influence of optical water type on the heating rate of a constant depth mixed layer, *Journal of Geophysical Research*, 86, pp. 6,426-6,428.