

적조생물 *Scrippsiella trochoidea*의 고유 광특성

Inherent optical properties of *Scrippsiella trochoidea*

이누리^{1,2}, 문정언¹, 안유환¹, 양찬수¹, 윤홍주²

Nu-Ri Lee, Jeong-Eon Moon, Yu-Hwan Ahn, Chan-Su Yang, Hong-Ju Yoon

한국해양연구원 해양위성연구단
경기도 안산시 상록구 사동 1270
E-mail) nrlee@kordi.re.kr

부경대학교 위성정보과학과²

요약

적조원격탐사의 기초연구로서 적조생물의 광학적 특성을 조사하였다. 연구에 사용된 적조생물 종은 외편모조류에 속하는 종으로 *Scrippsiella trochoidea*이다. 광학적 특성 조사를 위해 순수 배양된 생물종을 미세조류은행(KMCC)에서 구입하여 배양하였다. 배양된 샘플로 chlorophyll 농도, 흡광계수(absorption coefficient, a), 소산계수(attenuation coefficient, c), 역산란계수(backscattering coefficient, b_b), 입자크기분포(size distribution, F_d)를 측정하였다. 본 연구의 결과는 2000년 적조 생물종 원격탐사 기술개발 보고서의 결과와 비교해 보았으며, 흡광계수 측정방법에 있어서 filter technique과 부유상태에서 측정한 결과를 비교하였다. 흡광계수에 있어서 기존연구와 본연구의 결과는 매우 유사한 흡광 스펙트럼을 나타내었으며, filter technique과 부유상태에서 측정한 흡광도는 filter technique를 이용한 것이 높은 값을 나타내었다. 이는 multiple absorption, 즉 β -effect에 의한 것으로 보인다. 역산란 스펙트럼은 노이즈가 많이 나타났는데 이것은 농도가 충분하지 않아서 나타난 것으로 추정된다. 적조생물의 고유광특성이 해색에 영향을 미칠 것이라고 보고 이들 결과는 해색을 재현하기 위한 해색모델의 입력변수로 활용될 수 있다

Key word : Inherent optical property, absorption coefficient, backscattering coefficient, size distribution, chlorophyll concentration

1. 서론

적조란 식물성 플랑크톤이 대량 번식하여 집적함으로써 바닷물의 색이 변하는 현상이다. 우리나라 연안의 적조 발생이 해마다 그 빈도와 발생기간이 늘어나고 있어 어업, 양식업 등의 피해가 증가하고 있는 실정이다. 이러한 피해를 줄이는 방법은 현재로는 적조 생물의 시공간적인 분포의 모니터링이 가장 중요하다고 사료된다. 현재 선박을 이용하여 적조발생 현

장을 확인하고 있으나 관측 가능한 공간적 규모가 아주 제한적이며 인력, 시간 그리고 비용절감 측면에서 비효율적이다. 따라서 적조 발생 지역을 광역적이고 주기적으로 모니터링 할 수 있는 위성 또는 항공기에 의한 기술 개발이 필요하다. 단일 종의 적조 생물 종에 따라 해색이 변하는 것은 종에 따라 분광특성이 변하 때문이다. 종의 고유 광특성으로 모델링되는 해색 모델을 이용하여 종에 따른 해색을

재현할 수 있으며 이는 역으로 해수색에 따라 종을 구분 할 수 있음을 의미한다. 적조 생물에 의한 해색 변화를 모델로 재현하기 위한 연구로 Collin S. Roesler(1998)는 적조생물 종에 따라 광학적 특성이 어떻게 변하는지 흡광계수와 역산란계수의 차이를 연구하였으며, Stacey L. McLeroy-Etheridge(1998)는 적조생물의 성장주기와 종에 따른 광학적 특성의 차이에 대해 연구하였다. 본 연구에서는 *Scrippsiella trochoidea* 종에 대한 광특성을 규명하였다. *Scrippsiella trochoidea*는 1990년대 이후 한국연안에서 적조를 발생시키는 와편모조류의 한 종으로서 형태와 주요 특징은 (Fig 1)과 (Table 1)과 같다.

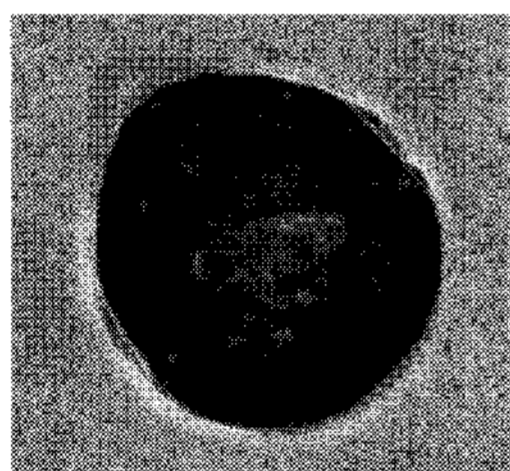


Figure 1. *Scrippsiella trochoidea*

생물학적 크기	길이 28 - 35 μm , 폭 12 - 15 μm
분포	연안역, 하구역
종류	와편모조류
색	황갈색
독성	독성은 없으나 산소의 고갈로 인한 어류 대량 폐사 초래.
최적 배양 조건	온도 25 $^{\circ}\text{C}$, 광도 3500 - 4000lux

Table 1. Specification of *Scrippsiella trochoidea*

본 연구에서는 *Scrippsiella trochoidea*의 흡광계수(absorption coefficient, a), 소산계수(attenuation coefficient, c), 역산란계수(backscattering coefficient, b_b), 입자크기 분포(size distribution, F_d)를 측정하여 광학적 특성을 연구하였다. 본연구의 목적은

*Scrippsiella trochoidea*의 광학적 특성을 규명하는데 있다.

2. 연구방법

배양할 적조를 한국미세조류은행(KMCC)에서 순수 배양된 종으로 구입하였다. *Scrippsiella trochoidea* 종 15ml을 구입하였으며, strain No.은 D-069이다. 구입한 생물을 배지 100ml에 1차 접종하였다. 접종은 cleanbench 내에서 수행되었으며, f/2 배지를 사용하였다. 배양조건은 온도 20 $^{\circ}\text{C}$, 광도 3000lux, 광주기 14L:10D를 유지하였다. 10일 후 이를 1L 배지에 2차 접종하였다. 실험에 사용하기 위해 성장말기까지 자란 샘플을 농축하였다. Sample의 chlorophyll 농도는 우선 sample을 GF/F(Glass Fiber Filter) 47mm로 거르고 90%의 아세톤 10ml에 넣어서 유리병으로 으갠 후 4 $^{\circ}\text{C}$ 의 냉암소에 약 24시간 보관하였다. 용액에서 Chlorophyll 색소 용액만을 분리하기 위하여 주사기에 아세톤에 녹지 않는 25mm membrane PTFE type (Model MFS-25)의 필터를 부착하여 찌꺼기를 제거하였다. 추출된 색소용액은 dual beam spectrophotometer에서 baseline correction을 한 후 400nm에서 750nm까지 scanning하여 optical density를 측정하고 Jeffrey and Humphrey(1975)의 식으로 그 농도를 분석하였다.

$$\langle Chl \rangle (mg/m^3) = \frac{C \times v}{V} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$C = 11.86E_{664} - 1.54E_{647} - 0.08E_{630},$$

E_{λ} 는 spectrophotometer로 측정된 색소의 파장에 따른 optical density, v 는 색소를 추출하기 위해 사용된 아세톤 부피(ml) 그리고 V 는 걸러낸 해수 부피(l)이다.

적조 생물의 흡광도와 역산란 광을 측정하기 위해 적분구가 장착된 dual beam spectrophotometer를 사용하였다

(Fig. 2). 이 광학장비는 가시광선이 두 곳에서 나오는데, 일반적으로 하나는 reference용이고 다른 하나는 sample용으로 사용한다. 이는 흡광계수(a)와 산란계수(c)를 모두 측정할 수 있으며 산란계수(b)는 직접 측정하지 않고 산란계수와 흡광계수의 차로 계산된다 (Eq. 2).

$$b = c - a \quad (\text{Eq. 2})$$

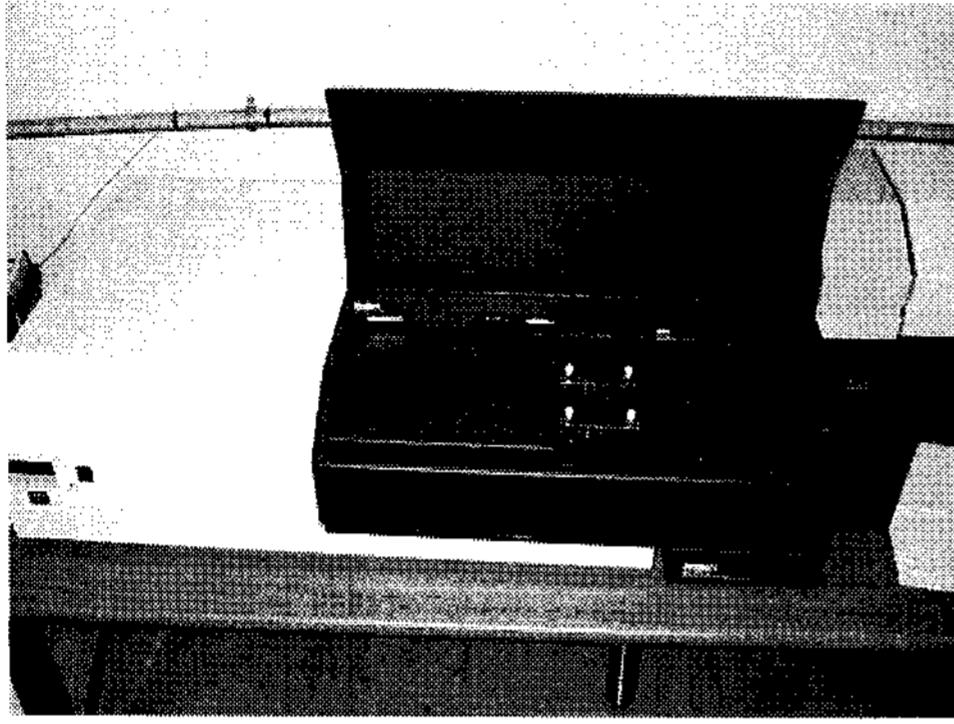


Figure 2. Spectrophotometer equipped with Integrating Sphere for light backscattering coefficient

Baseline 측정 후, 적조 생물의 흡광 계수를 측정하기 위해 Sample cell과 reference cell을 적분구 입구에 두고 sample에 배양된 식물플랑크톤을 넣고 흡광도를 측정한다. 흡광계수 (absorption coefficient)는 Eq. 3과 같이 계산된다. chlorophyll의 비 흡광계수 (a^*)는 Eq. 4와 같다. a^* 는 단위 chlorophyll 농도(mg/m^3) 당 chlorophyll의 광 흡수 계수(m^2/mg)이다.

$$a(\lambda) = \frac{O.D_a(\lambda) \times 2.3025}{0.01} [\text{m}^{-1}] \quad (\text{Eq. 3})$$

$$a^* = \frac{a(\lambda)}{\langle chl \rangle} [\text{m}^2/\text{mg}] \quad (\text{Eq. 4})$$

역산란 광의 크기를 측정하기 위한 기술은 Eq. 5와 같이 angular

distribution of scattered radiation (volume scattering function) $\beta(\theta)$ 을 $\pi/2$ 에서 π 공간에 대하여 측정하여 적분을 하는 방법이 있다. 그러나 부유 상태의 입자는 체적산란이므로 후방산란광을 완벽하게 측정할 수 있는 방법은 없다. 적분형구가 부착된 spectrophotometer (Fig. 2)를 이용하여 산란광을 측정하였으나 한정된 각의 범위(약 $132-174^\circ$)에 대하여 측정하였다 (Ahn, 1990). 141° 방향에서 산란광의 세기(β_{141})가 총 역산란 계수 (b_b)와 가장 유의성이 있다고 보고 Eq. 5를 간단하게 표현하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다(Eq. 6).

$$b_b = 2\pi \int_{\pi/2}^{\pi} \beta(\theta) \sin\theta d\theta \quad (\text{Eq. 5})$$

$$b_b(\lambda) = 2\pi\chi \beta_{141}(\lambda) \quad (\text{Eq. 6})$$

여기서 χ 는 β_{141} 을 b_b 로 바꾸어주는 전환 상수(Conversion factor)이다. Ahn et al. (1992)은 부유입자의 역산란 계수 스펙트럼을 얻기 위하여 고안한 특수한 light trap 구조의 optical cell과 적분구 사이에서 이 χ 의 값이 대체로 파장에 따라 변하지 않는 상수를 가지나 아주 흡광도가 큰 입자의 경우 파장에 따라 가볍게 변할 수 있음을 이론적으로 보여주었다. 그리고 $2\pi\chi$ 의 값은 플랑크톤의 종에 따라 5.5 - 7 정도를 보여주고 있다. 본 연구에서도 역시 Ahn et al. (1992)의 방법을 사용하되 $2\pi\chi$ (GF; Geometrical factor of optical cell)의 값을 약 6으로 일정하다고 가정하고 측정 값(b_{bm})에다 GF의 값을 곱하였다. 그리고 GF는 파장에 따라 약하게 변하는 값이나 여기서는 변하지 않는다고 가정하였다.

$$b_b = b_{bm}(\lambda) \times GF \quad (\text{Eq. 9})$$

chlorophyll에 대한 비 역산란 계수는 다음과 같은 식으로 얻어진다(Eq. 10).

$$b_b^*(\lambda) = b_b(\lambda) / \langle chl \rangle \quad (\text{Eq. 10})$$

3. 연구결과 및 토의

기존의 연구에서의 측정결과와 본 연구의 결과를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 스펙트럼의 형태는 유사하였으나 소산계수에서 본연구 결과가 노이즈를 많이 나타내었다.

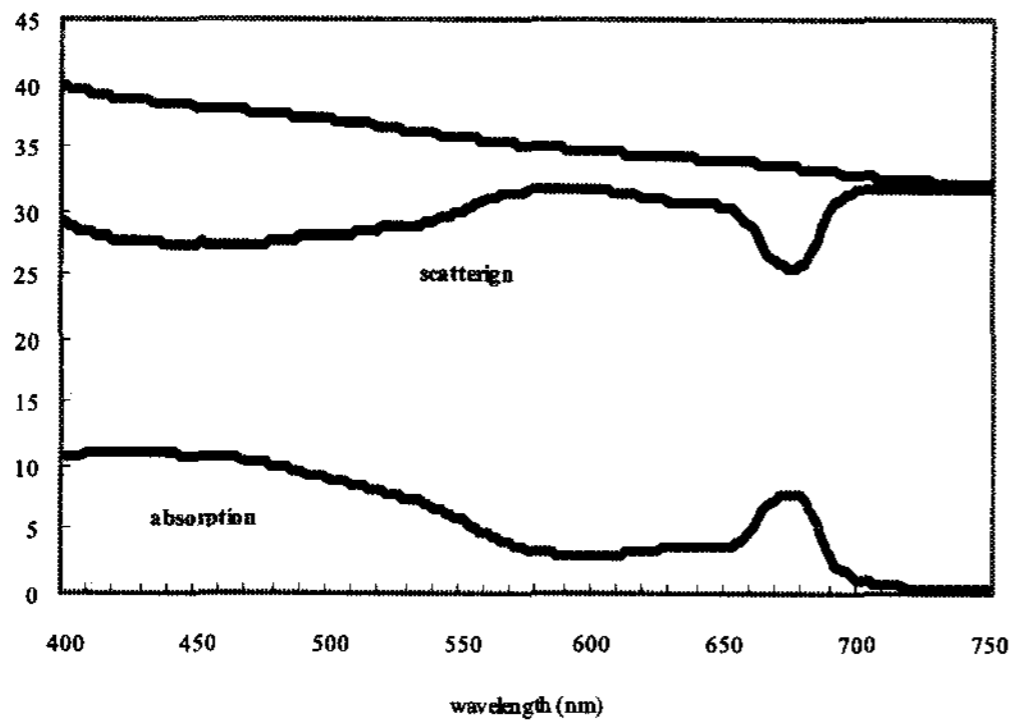


Figure 3. absorption, scattering, attenuation spectrum of before result.

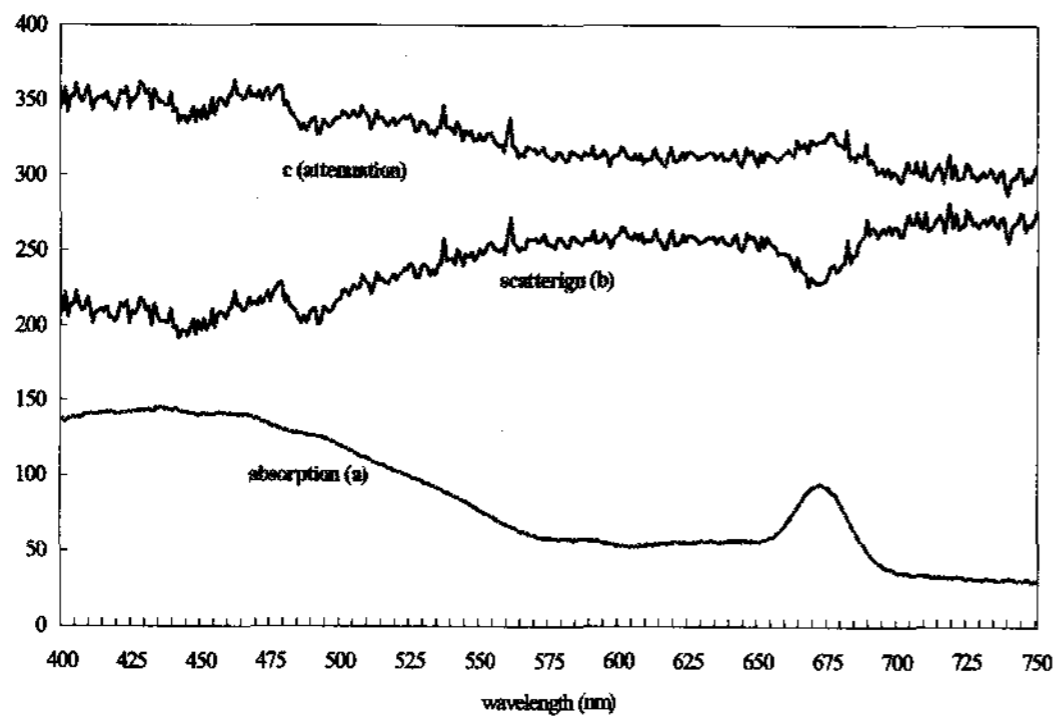


Figure 4. absorption, scattering, attenuation spectrum of this research result.

Fig. 5는 2000년과 2007년에 각각 부유상태로 측정된 흡광스펙트럼을 440nm에서

normalization하여 비교한 것이다. 이들 결과는 값과 형태에서 유사 결과를 나타내었다.

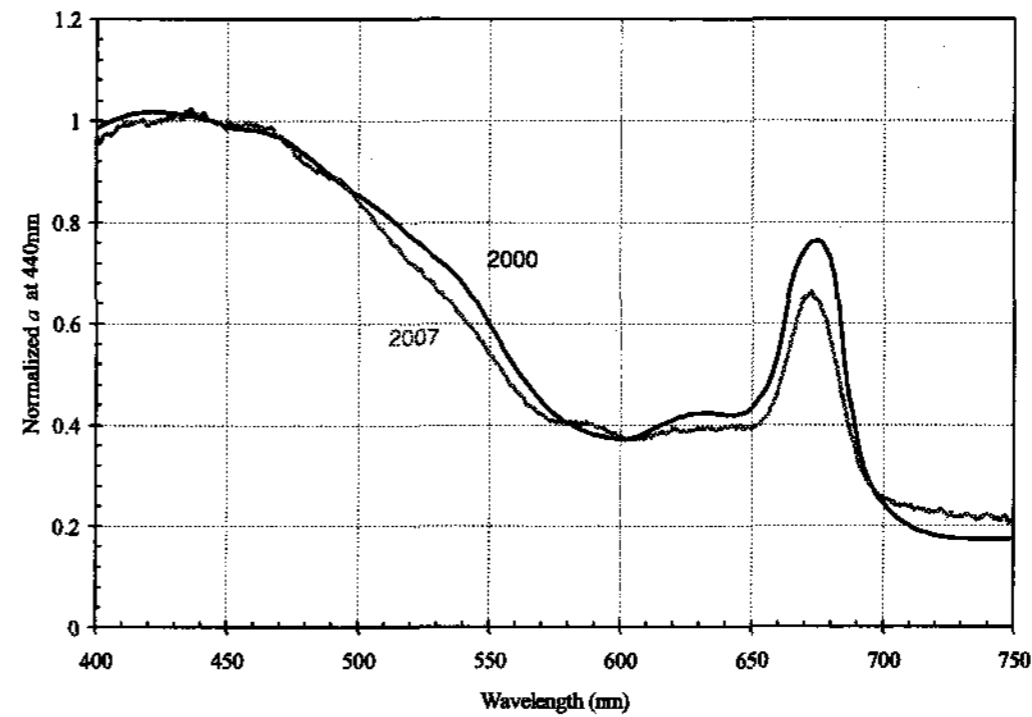


Figure 5. comparison of normalized absorption spectrum at 440nm between 2000 and 2007

Fig. 6과 Fig. 7은 각각 소산계수와 역산란계수 스펙트럼이다. 이들 그래프에서는 유사한 값을 보였으나 이전 결과보다 노이즈가 많이 나타났다.

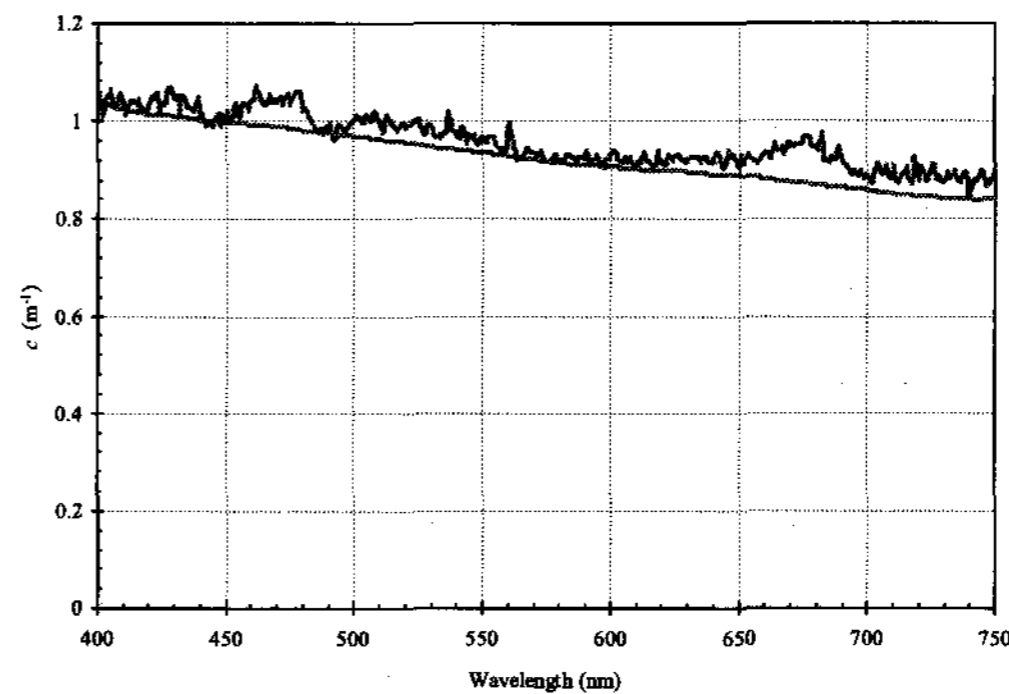


Figure 6. comparison of normalized attenuation spectrum at 554nm between 2000 and 2007

부유상태와 filter technique를 이용해 측정한 흡광계수의 차이는 Fig. 8에서 나타났다. filter technique를 사용했을 때 더 높은 값을 나타내는데 이는 multiple absorption 즉, β -effect에 의한 것으로 보인다.

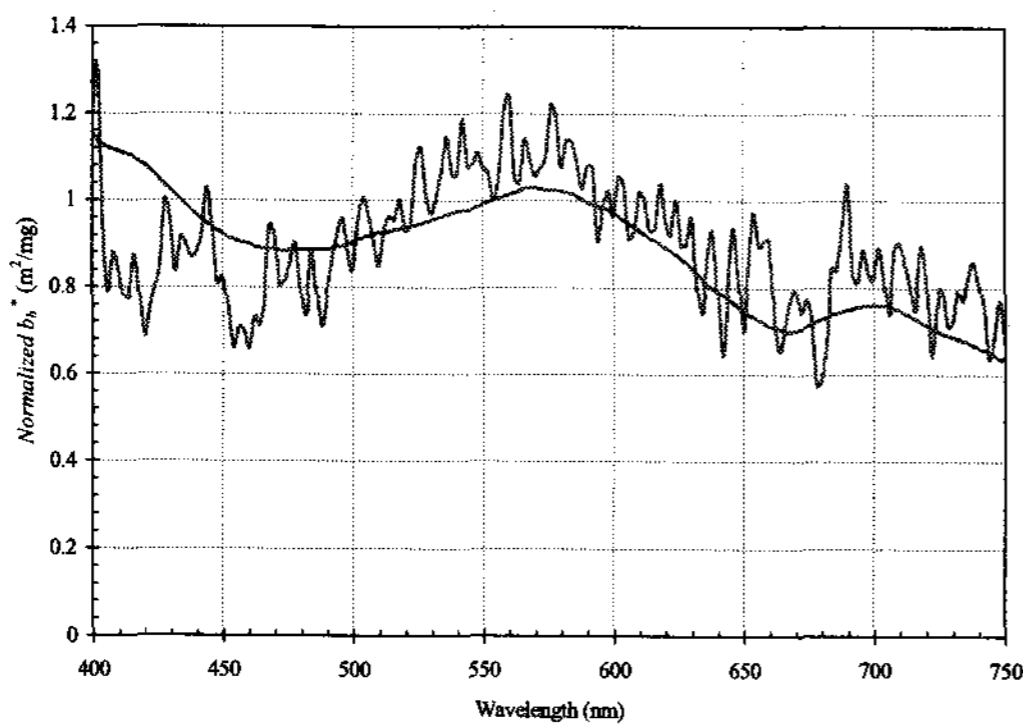


Figure 7. comparison of normalized backscattering spectrum at 554nm between 2000 and 2007

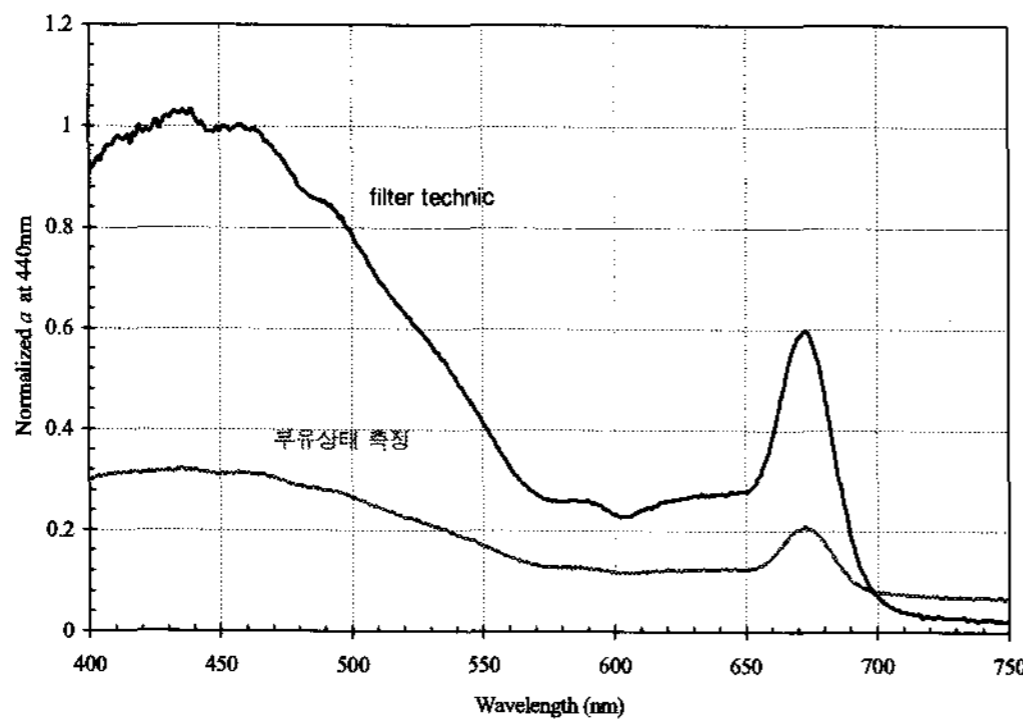


Figure 8. comparison of absorption spectrum between filter technique and suspended measurement

본 연구에서 사용된 샘플의 농도가 충분히 진하지 않아 소산계수와 역산란계수의 측정 결과에 노이즈가 많이 나타났다.

참고 문헌

한국해양연구원, 1998. 해양원격탐사기술 개발을 위한 해색 분석모델의 개발. 한국해양연구원 보고서, BSPE 97670-00-1075-7

한국해양연구원, 2000. 해양환경 관측 및 개선을 위한 기반기술 연구. 한국해양연구원 보고서, BSPE 00787-00-1297-1. p.75-116.

Collin S. Roesler and Stacey L. McLeroy-Etheridge, 1998. Remote Detection of Harmful Algal Blooms.

Stacey L. McLeroy-Etheridge and Collin S. Roesler, 1998. Are the inherent optical properties of phytoplankton responsible for the distinct ocean colors observed during harmful 땃땃 blooms.

JOHN T. O. KIRK, 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems, Cambridge

Ahn Y. H., Bricaud A. and A. Morel, 1992. Light backscattering efficiency and related properties of phytoplankters. Deep-Sea Res., vol.39, No.11/12, p.1835-1855.

Ahn Y. H., 2000. Development of Remote Sensing Reflectance and Water Leaving Radiance Models for Ocean Color Remote Sensing Technique. Journal of the Korean Society of Remote Sensing of Remote Sensing, Vol.16, No.3, p. 243-260.

David R. Dana and Robert A. maffione, HOBI Labs, Inc., Determining the backward scattering coefficient with fixed-angle backscattering sensors-revisited, Ocean Optics XVI, Santa Fe New Mexico, November 18-22, 2002.

Maffione, R.A. and Dana, D. R., 1997. Instruments and methods for measuring the backwater-scattering coefficient of ocean waters. Applied Optics, Vol.36, No.24, p.6057-6067.