

SeaWiFS 자료를 이용한 황해와 동해의 생물광학 특성 비교

정 종 철¹

Comparison of Bio-Optical Properties of the Yellow Sea and the East Sea using SeaWiFS Data

Jong-Chul Jeong¹

요 약

본 연구에서는 동해와 황해에서 36. N과 124. E, 132. E의 3개 라인으로부터 Lwn(normalized water leaving radiances)을 추출하였다. 이들 자료에 의해 OCTS 알고리즘과 SeaWiFS의 OC-2 알고리즘을 비교하였고, OCTS 알고리즘이 OC-2 알고리즘에 비해 엽록소 농도를 과대평가하고 있음을 알았다. 해색센서에 의해 동해와 황해의 해양환경변화를 장기적으로 모니터링하기 위해서는 황해의 부유사 영향을 제거할 수 있는 대기보정 방법이 제안되어야 하며, 용존유기물과 부유사 영향을 고려한 생물광학 알고리즘의 적용이 요구된다.

주요어 : CZCS, OCTS, SeaWiFS, 엽록소 알고리즘

ABSTRACT

Three lines from 36. N, 124. E, and 132. E of the East Sea and the Yellow Sea were chosen to extract spectra of normalized water leaving radiances. Comparative analysis of the OCTS algorithm and SeaWiFS(OC-2) algorithms was presented here. OCTS algorithm have more overestimate than SeaWiFS(OC-2 algorithm) for detecting chlorophyll concentration. Atmospheric correction algorithm that is excluded the effect of SS in the case 2 water need for long term ocean environmental monitoring of the East Sea and the Yellow Sea. And, considered the effect of CDOM and SS, bio-optical algorithm have to be developed in this research.

KEYWORDS: chlorophyll algorithm, CZCS, OCTS, SeaWiFS

2001년 4월 26일 접수 Received on April 26, 2001

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

서 론

원격탐사 기법에 의해 해양의 엽록소 농도 분포를 파악하는 것은 매우 중요하다. 이는 해양의 일차생산력을 파악하고, 전 지구적인 해양환경변화를 관측할 수 있는 기초자료를 제공하기 때문이다(Shimada et al., 1998).

해양의 엽록소 농도 분포에 관한 연구는 해양관측위성의 개발과 함께 발전하였다. CZCS(Coastal Zone Color Scanner)는 최초의 해양관측센서로 NASA에 의해 1978년에 발사되었다(Karmam, 1996). 하지만, 1986년 CZCS는 작동을 멈추어 해양을 관측할 수 있는 인공 위성 센서가 운영되지 못하다가 OCTS(Ocean Color and Temperature Scanner)가 일본의 NASDA(National Space Development Agency)로부터 1996년 8월 17일 발사되었다. CZCS 이후 10년만에 해양관측센서가 발사된 것이다. 그러나, OCTS는 태양전지판의 기기적 고장으로 인해 1997년 6월 30일 운행이 중지되었다.

비록 11개월의 짧은 시간이었으나, OCTS는 CZCS 이후 전 지구적인 해양환경의 변화에 대한 많은 정보를 제공해주었다. OCTS 이후 미국은 SeaWiFS(Sea-viewing Wide Field-of view Sensor)를 1997년 8월 발사하였는데, 현재 전 지구적인 해색자료를 제공하고 있다. 또한, 1999년 12월 우리나라는 KOMPSAT에 탑재된 OSMI 센서를 발사하여 해색자료를 획득하고 있다.

하지만, CZCS, OCTS, SeaWiFS 센서는 서로 다른 엽록소 계산 알고리즘을 가지고 있어서 각각의 알고리즘에 의한 엽록소 관측 결과를 비교하기 어렵고, CZCS 이후의 장기적인 해양환경 변동을 연구하기 위해서는 이들 알고리즘의 비교 연구가 요구된다. NASA에서 발사된 CZCS와 SeaWiFS는 동일한 채널을 가지고 있어서 알고리즘을 비교하기 용이하지만, OCTS는 다른 채널을 가지고 있어서 SeaWiFS와 알고리즘을 비교하는데는 많은 어려움이 있다.

본 연구는 해양의 장기적인 환경변화를 모니터링하고, OCTS와 SeaWiFS 센서의 서로 다른 채널과 알고리즘을 비교하기 위해 황해와 동해에서 관측된 생물광학 특성을 비교하였다. 특히, 동해와 황해의 장기적인 해양환경 변동을 관측하기 위한 분석 요소 중에서 엽록소 요소를 추정하는 농도 알고리즘을 황해와 동해의 생물광학 특성으로 비교하였다.

본 연구는 동해와 황해의 해색 특성을 비교하여 장기적인 환경변화의 모니터링을 위한 알고리즘을 개발하고, 이에 따른 문제점과 다른 센서자료에 의한 엽록소 알고리즘 적용의 타당성을 파악하는데 본 연구의 목적이 있다.

연구방법 및 자료

해색연구를 위한 생물 광학 요소는 엽록소 농도, pigment 농도, 490nm 분광대역에서의 소광계수이다. 이들은 3개의 관계식에 의해 결정되는데 센서의 입출력 신호의 관계, 대기보정 관계식의 적용, 그리고 해색모델이다(Shimada, 1998).

이중 첫 번째와 두 번째 요소는 센서의 운용에 의한 것으로 본 연구의 영역에서 제외하였다.

본 연구에서는 동해와 황해의 해양관측자료가 동시에 비교 가능하고, 대기 중에 에어로졸의 분포가 알고리즘의 비교에 적게 영향을 미치는 시점의 SeaWiFS 자료를 획득하기 위해 1998년과 1999년의 SeaWiFS 자료를 검색하였다. 이중 동해와 황해를 동시에 비교가능한 시점인 1999년 6월 14일에 획득된 SeaWiFS 자료를 가지고 알고리즘을 비교하였다.

본 연구에서 엽록소 알고리즘을 비교하기 위해 적용된 OCTS의 관계식은 Kishino(1994)가 제안한 다음 식을 사용하였다.

$$Chl = 0.2818 * \left(\frac{L_4 + L_5}{L_3} \right)^{3.497}$$

$$K490 = 0.0391 * \left(\frac{L_4 + L_5}{L_2} \right)^{1.691}$$

------(1)

여기서,

Chl : Chlorophyll-a concentration ($\mu g/l$)

L_n : Atmospheric corrected normalized water-leaving radiance ($mW \cdot sr^{-1} \cdot cm^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)

$L_2=443, L_3=490, L_4=520, L_5=565(nm)$

또한, SeaWiFS를 이용한 엽록소 추출 알고리즘은 다양한 관계식이 제시되고 있는데, SeaBAM (SeaWiFS Bio-optical Algorithm Mini-workshop)에서 적용한 OC-2알고리즘과 K490 알고리즘을 본 연구에서는 적용하였고, 다음 식(2)와 같다(Darzi, 1998).

$$Chl = -0.040 + 10^{(0.341 - 3.001x + 2.811x^2 - 2.041x^3)}$$

$$K490 = 0.022 * (0.1 * \frac{L_2}{L_5})^{-1.2996}$$

------(2)

여기서, χ 는 $\log_{10} [Rrs(490) / Rrs(555)]$, $Rrs(\lambda)$ 는 remote sensing reflectance.

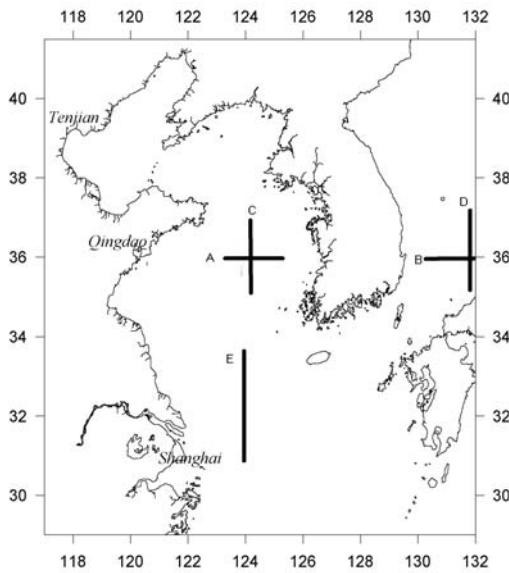
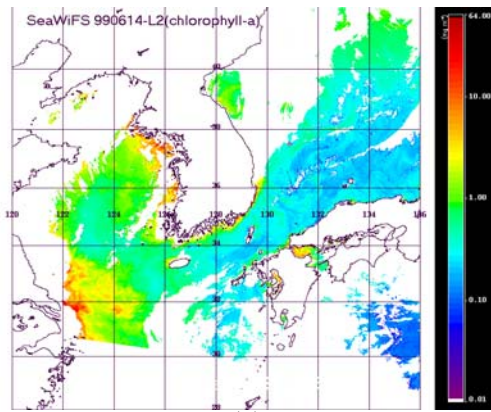
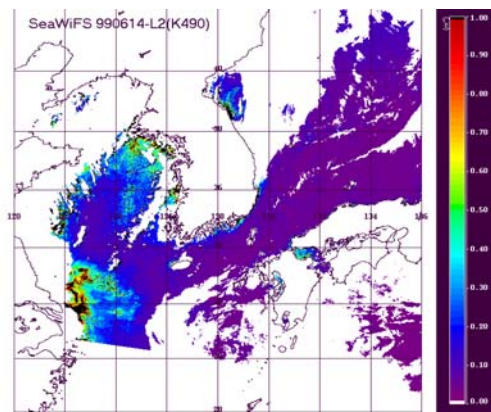


FIGURE. 1. Location of resampling line(A, B, C , D, E) over the East and Yellow sea.

앞의 두 가지 방법을 통해 얻어진 자료는 SeaDAS에서 알고리즘을 비교하였고, 분석결과를 처리하였다. 알고리즘을 비교하기 위해 적용된 Lwn은 그림 1과 같이 4개의 축에 의해 자료를 추출하였다. 먼저, 동해와 황해의 가로축으로 위도 36. N에서 각각 경도 123. E부터 125. E까지를 황해에서 추출하였고(A라인), 경도 131. E에서 133. E까지를 동해에서 추출하였다(B라인). 세로축은 경도 124. E에서 위도 35. N부터 37. N까지를 황해에서 추출하였고(C라인), 경도 133. E에서 35. N부터 37. N까지를 동해에서 추출하였다(D라인).



(a)



(b)

FIGURE. 2. Comparison between (a)

chlorophyll-a distribution and (b) K490 using SeaWiFS data on Jun. 14, 1999.

결과 및 고찰

OCTS 알고리즘을 적용한 엽록소 농도를 관측하기 위해서는 SeaWiFS 자료로부터 Lwn (normalized water leaving radiance)이 추출되어야 한다. 따라서, 동해와 황해가 동시에 관측될 수 있는 자료를 선정하여야 하는데, 이는 그림 2와 같이 SeaDAS에서 분석된 SeaWiFS의 엽록소 분포와 K490 분포를 검색하여 획득하였다. 그림 2는 본 연구에서 사용된 SeaWiFS 자료를 식(2)에 의해 분석된 결과로 나타낸 것이다.

동해와 황해의 Lwn을 추출하기 위해 SeaDAS에서 SeaWiFS 자료의 Level 2 자료로부터 위도 36. N의 라인으로 Lwn을 획득하였다.

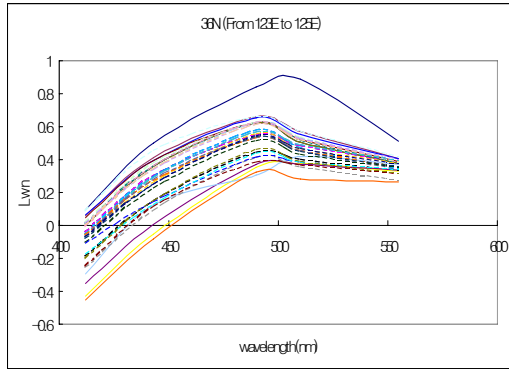


FIGURE 3. Spectrum of Lwn extracted by 36. N of the Yellow Sea from 123. E to 125. E

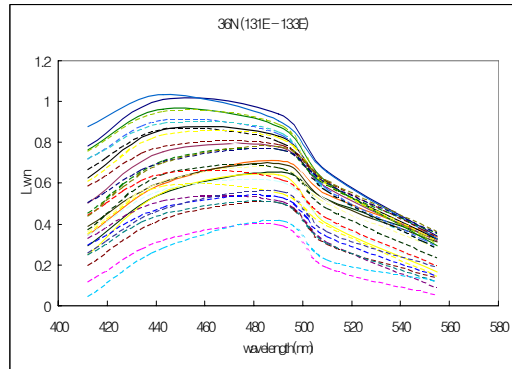


FIGURE 4. Spectrum of Lwn extracted by 36. N of the East Sea from 131. E to 133. E

그림 3은 황해에서 위도 36. N의 자료를 경도 123. E부터 125. E까지 Lwn을 추출하여 SeaWiFS 밴드역으로 나타낸 것이다. 또한, 그림 4는 동해에서 위도 36. N의 자료를 경도 131. E부터 133. E까지 Lwn을 추출하여 SeaWiFS 밴드역으로 나타낸 것이다.

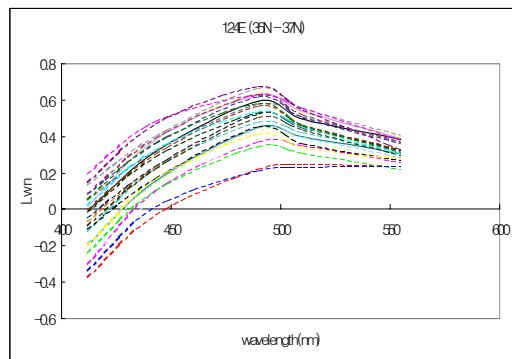


FIGURE 5. Spectrum of Lwn extracted by 124. E of the Yellow Sea from 35. N to 37. N

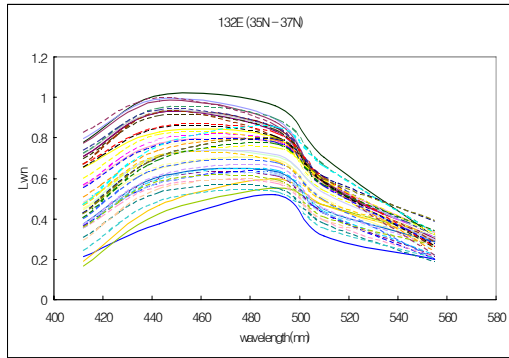


FIGURE 6. Spectrum of Lwn extracted by 132 E of the East Sea from 35. N to 37. N

또한, 그림 5는 황해에서 경도 124. E라인으로부터 위도 35. N부터 37. N까지의 Lwn을 추출하여 SeaWiFS 밴드역으로 나타낸 것이며, 그림 6은 동해에서 경도 132. E라인으로부터 위도 35. N부터 37. N까지의 Lwn을 추출하여 SeaWiFS 밴드역으로 나타낸 것이다.

그림 3부터 그림 6까지 4개의 라인으로부터 추출된 결과는 황해와 동해의 수중 광학적 특성을 잘 나타내주고 있다.

동해와는 다르게 황해에서 추출된 그림 3과 그림 5의 결과는 Lwn 412와 Lwn 443에서 음수의 Lwn을 나타내고 있는데, 이는 두가지 이유에 의해서 나타나는 결과로 판단된다.

첫째, 황해의 부유사에 의한 영향으로 근적외선에 의한 대기보정이 오차를 발생하여 Lwn 412와 Lwn 443에서 음수의 Lwn이 나타나는 것이다. 둘째는 연안해역에서 유입되는 용존유기물(CDOM ; colored dissolved organic matter)에 의해 412와 443의 짧은 파장에서의 높은 흡광으로 Lwn이 음수의 값을 갖게되는 경우이다.

이러한 분석결과는 Bukata 등(1981)의 연구 결과에서 제시되고 있는 case 2 water의 정의에 일치하는 결과를 나타내고 있다.

그림 4와 그림 6의 결과에서는 case 1 water의 수중 광학적 특성이 잘 관찰되고 있는데, 412nm에서 0.8이상의 Lwn을 나타내고

있으며, 550nm에서는 맑은 해역에 의한 흡광으로 490nm 보다 낮은 0.4 이하의 Lwn 값이 나타나고 있다.

본 연구에서는 황해와 동해의 생물광학 특성을 비교할 수 있는 동중국해의 경도 124. E 라인으로부터 위도 31. N부터 34. N에서 Lwn을 추출하여 그림 7에 제시하였다.

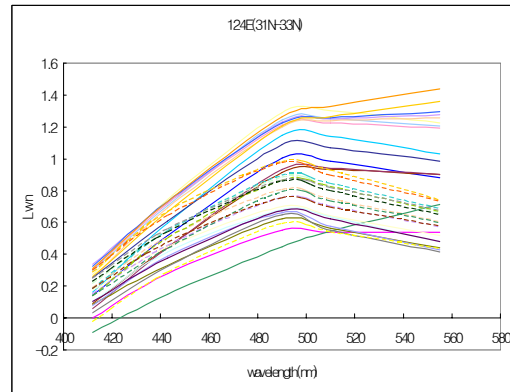


FIGURE 7. Spectrum of Lwn extracted by 124 E of the Yellow Sea from 31. N to 33. N

이 지역은 양자강에서 유입되는 부유사의 영향으로 부유사에 의한 반사치가 잘 나타나는 지역이다. 그림 7에서 볼 수 있는 바와 같이 550nm에서 0.8 이상의 높은 Lwn 값이 나타나고 있는데, 이는 양자강에서 유입되는 부유사에 의한 반사치가 550nm에서 반영되어 나타나기 때문이다.

결국, 그림 2에서 SeaWiFS에 의해 관측된 엽록소의 농도 분포 중 황해와 동중국해에서 관찰된 엽록소의 분포는 부유사와 용존유기물에 의한 오차가 포함된 결과임을 확인 할 수 있다. 이러한 오차를 극복하기 위해서는 부유사에 의한 생물광학 특성을 고려한 엽록소 알고리즘이 제시되어야 하는데, 아직 이에 대한 국내의 연구는 부족한 실정이다.

OCTS와 SeaWiFS 알고리즘을 비교하기 위해 본 연구에서는 엽록소 알고리즘을 구성하는 Lwn(443/555), Lwn(490/555)의 밴드 비율과 OC-2 알고리즘을 통해 얻어진 엽록소

농도를 비교하였다(그림 8).

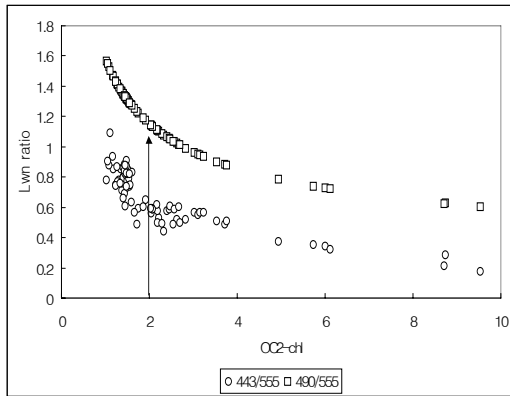


FIGURE 8. Relationship between Lwn(443/555), (490/555) and OC-2 chl-a on 124 E(31, N - 33, N)

Lwn(490/555)의 밴드 비율에 의해 계산된 OC-2 알고리즘의 엽록소 농도는 밴드비율 1.1에서 $2\mu\text{g}/\text{l}$ 를 나타냈다. Lwn 밴드비율은 엽록소의 정량적인 농도를 파악하는 기준이 되기 때문에 그림 7과 같이 부유사에 의해 550nm에서 0.8 이상의 Lwn 값이 나타나거나, 그림 3과 그림 5에서의 412nm와 443nm 파장에서 나타나는 음의 Lwn은 OC-2 알고리즘에 의해 계산된 엽록소 값이 과대평가 될 수 있는 원인이 된다.

대기보정의 오차요인을 평가하기 위해 본 연구에서는 670nm와 865nm에서의 La 값을 그림 9와 그림 10에 제시하였다. 에어로졸에 의한 대기 중의 산란값을 La670과 La865에서 계산한 값을 비교하면, 그림 9와 그림 10과 같이 두 파장대에서 모두 동해(132. E)에 비해 황해(124. E)에서 La값의 변이가 크게 나타나고 있다. 때문에, 황해의 Lwn 412와 Lwn 443에서 음수의 Lwn 값이 나타나는 것으로 판단된다.

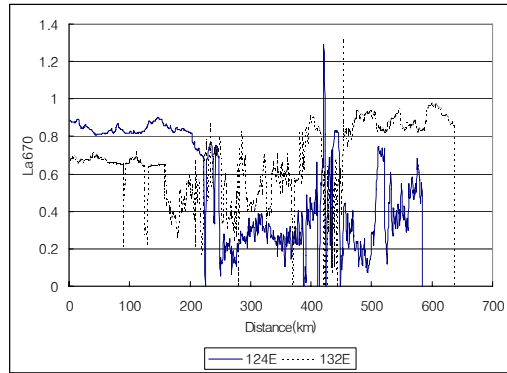


FIGURE 9. Relationship between La670 of 124. E line and La670 of 132. E line

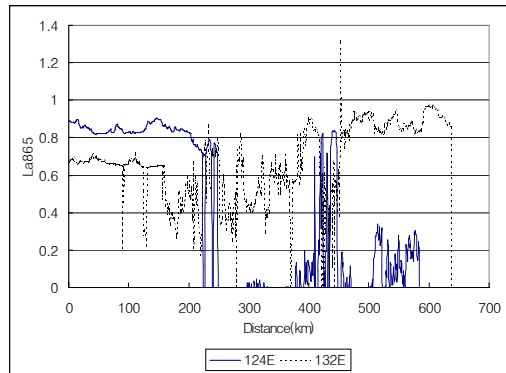


FIGURE 10. Relationship between La865 of 124. E line and La865 of 132. E line

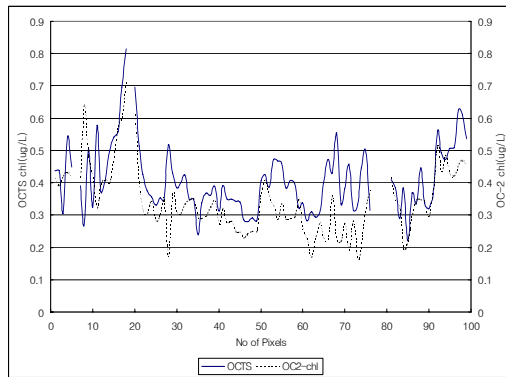


FIGURE 11. Relationship between OC-2 and OCTS chlorophyll algorithm 132. E (from 35. N to 37. N)

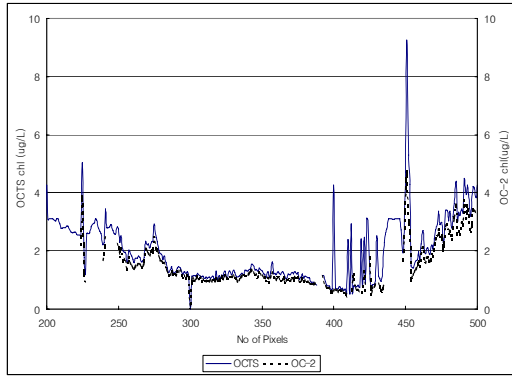


FIGURE 12. Relationship between OC-2 and OCTS chlorophyll algorithm 124 E(from 31, N to 37, N)

OCTS와 OC-2 알고리즘에 의해 계산된 엽록소 농도를 비교하기 위해 그림 11과 그림 12에 두 알고리즘에 의해 계산된 결과를 제시하였다.

OCTS와 OC-2 알고리즘에 의한 엽록소 계산결과는 계산 결과 값의 범위에 의해 큰 차이가 나타나는데, 그림 11의 동해에서 관측된 결과가 0.2에서 0.8 $\mu\text{g}/\text{l}$ 값의 농도 범위를 가지는 반면, 황해는 0.2에서 9 $\mu\text{g}/\text{l}$ 의 농도 범위로 나타나고 있다. 또한, OCTS와 SeaWiFS(OC-2 algorithm)에 의한 결과는 그림 13과 그림 14에 의해 비교할 수 있다. 그림 13의 황해 중부해역에서 위도 35. N에서 37. N까지 추출된 결과는 그림 14의 경도 122. E에서 130. E까지에서 얻어진 결과와 같이 계산된 엽록소 농도의 변이 값에 의해 큰 차이를 나타내고 있다. 이는 황해보다 동중국해의 부유사에 의한 변이가 더 크게 관측되고 있음을 잘 나타낸다. 또한, 그림 14와 같이 OCTS 알고리즘이 OC-2알고리즘 보다 엽록소를 과대평가하고 있음이 나타났다. 따라서, OCTS 알고리즘을 적용할 경우 과대평가(overestimation)되는 값을 보정해 주기 위한 보정계수가 필요하다.

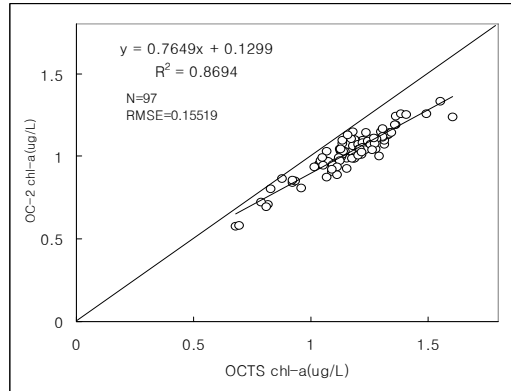


FIGURE 13. Relationship between OC-2 and OCTS chlorophyll algorithm 124 E(from 35, N to 37, N)

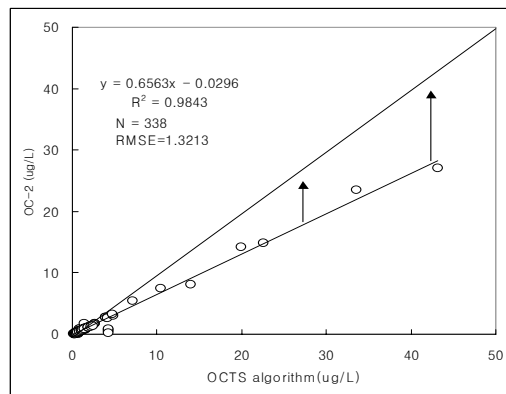


FIGURE 14. Relationship between OC-2 and OCTS chlorophyll algorithm 34 N(from 122, E to 130, E)

결론

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


첫째, Lwn에 의한 동해와 황해의 생물광학 특성은 황해의 경우 412nm와 443nm에서 음의 값을 나타내고 있고, 동해는 같은 파장대에서 Lwn의 변이가 크게 나타나 대기 중 에어로졸에 의한 Lwn의 오차가 크게 나타남을 판단할 수 있었다.

특히, 양자강에서 유입되는 부유사의 영향

이 뚜렷한 동중국해의 경우 Lwn 412와 Lwn 443에서 황해와는 다르게 양수의 값이 나타나는데, 이는 부유사에 의한 산란의 영향으로 Lwn의 절대값이 전 파장대에서 높게 관찰되는 것을 볼 수 있다.

둘째, La670과 La865에서 황해는 동해보다 에어로졸의 변이가 크게 나타나고 있는데, 이는 대기환경의 차이가 아닌 황해의 부유사 산란이 670nm와 865nm에서의 La값을 계산할 때 오차요인으로 작용하기 때문이다. 따라서, 황해에서 증적외선과 근적외선 파장대역에 의한 대기보정은 해양의 부유사에 의한 산란으로 인해 대기효과를 제거하지 못하고 황해에서 큰 변이 값이 나타나고 있다.

셋째, OCTS 알고리즘과 SeaWiFS의 OC-2 알고리즘은 엽록소를 계산하는데 있어서 OCTS 알고리즘이 엽록소 농도를 과대평가하는 경향이 있음을 알 수 있었고, 부유사가 높은 해역에서의 오차가 크게 나타남을 알 수 있었다. 특히, 동중국해의 양자강에 의한 부유사 영향은 황해의 엽록소 농도를 추정하는데 있어서 큰 오차를 유발시키고 있다.

황해와 동해의 장기적인 해양환경 변동을 관측하기 위해 다른 센서에 의한 위성자료를 동일한 알고리즘으로 분석하기 위해서는 먼저 생물 광학적인 오차 요인을 제거할 수 있는 알고리즘의 구성이 요구된다. 결국, 수중 광학 특성에 의해 해역을 구분하고 이에 적합한 알고리즘을 해역별로 적용하는 방법을 향후 연구과제로 제안할 수 있다. 

참고문헌

Bukata, R.P., J.H. Jerome, J.E. Bruton and H.H. Zwick. 1981. Optical water quality model of Lake Ontario. 1: Determination of the optical cross sections of organic and inorganic particulates in Lake Ontario. *Applied Optics* 20(9):1696-1703.

Bukata, R.P., J.H. Jerome, J.E. Bruton and H.H. Zwick. 1981. Optical water quality model of Lake Ontario. 2: Determination of chlorophyll a and suspended mineral concentrations of natural waters from submersible and low altitude optical sensors. *Applied Optics* 20(9):1704-1714.

Darzi, M. 1998. SeaWiFS Science Algorithm Flow Chart. NASA Goddard Space Flight Center. pp.16-28.

Karmam, H.J. 1996. Observation of the Earth its Environment-Survey of Missions and Sensors. Springer. pp.124-132.

Kishino, M. 1994. Development of in-water algorithm. Contract report to RESTEC of Japan.

Shimada, M., H. Oaku and H. Fukushima. 1998. Calibration and validation of the ocean color version 3 products from ADEOS OCTS. *J. Oceanogr.* 54:401-416.

