한국환경과학회지 제17권(제1호), 85~95, 2008
Journal of the Environmental Sciences

해색영상을 이용한 동중국해 북부해역 하계 클로로필 a의 시공간 분포

김상우 · 임진욱 · 장이현
국립수산과학원 해양연구팀
(2007년 10월 11일 접수; 2007년 12월 20일 채택)

Temporal and Spatial Variability of Chlorophyll a in the Northern East China Sea using Ocean Color Images in Summer

Sang-Woo Kim, Jin-Wook Lim and Lee-Hyun Jang
Ocean Research Team, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea
(Manuscript received 11 October, 2007; accepted 20 December, 2007)

Abstract

Temporal and spatial variabilities of chlorophyll a (Chl-a) in the northern East China Sea (ECS) are described, using both 8-day composite images of the SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) and in-situ data investigated in August and September during 2000-2005. Ocean color imagery showed that Chl-a concentrations on the continental shelf within the 50 m depth in the ECS were above 10 times higher than those of the Kuroshio area throughout the year. Higher concentrations (above 5 mg/m^3) of yearly mean Chl-a were observed along the western part of the shelf near the coast of China. The standard deviation also showed the characteristics of the spatial variability near 122-124°E, where the western region of the East China Sea was grater than that of the eastern region. Particularly the significant concentration of Chl-a, up to 9 mg/m^3, was found at the western part of 125°E in the in-situ data of 2002. The higher Chl-a concentrations of in-situ data were consistent with low salinity waters of below 30 psu. It means that there were the close relationship between the horizontal distribution of Chl-a and low salinity water.

Key Words : East China Sea, Ocean color image, Chlorophyll a

1. 서 론

식물플랑크톤 색소농도 중에서 가장 높은 비율을 나타내는 클로로필 a는 저차생물생산 과정을 이해하기 위한 기초정보뿐만 아니라, 생태계내의 물질 순환을 밝히기 위한 기초 자료로서 매우 중요한 역할을 한다. 해양생물조사의 한 항목인 클로로필 a 조사는 지금까지 선박에 의한 현장조사로 국한되었지만, 최근 인공위성 해양원격탐사 기술의 발달로 단시간에 넓은 해역에 대한 클로로필 a 농도의 관측이 가능하게 되었다.

해색원격탐사(ocean color remote sensing)는 위성에 탑재된 해색 측정용 센서로 해수를 통과한 가시영역대의 빛의 성분 변화를 감지하여 식물플랑크톤 색소농도나 부유물질 등을 추정하는 방법이다. 최초의 해색 측정용 센서는 미국의 기상위성 NIMBUS-7

Corresponding Author : Sang-Woo Kim, Ocean Research Team, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea
Phone: +82-51-720-2226
E-mail: swkim26@nfrdi.re.kr

위성에 탑재된 CZCS(coastal zone color scanner)로서 1978년부터 1986년까지 약 8년간에 걸친 해색(클로로필 a 등) 자료를 제공하여 주었다. 그 후의 해색센서는 일본 우주항공연구개발기구의 ADEOS 위성에 탑재된 OCTS(ocean color and temperature scanner) 센서가 1996년부터 1997년까지 운용되었으며, 현재 운용중인 해색센서로는 미국의 SeaWiFS(sea-viewing wide field-of-view sensor)와 해색센서로서 가장 많은 36개의 band를 가진 MODIS(moderate resolution imaging spectroradiometer)가 있다. 한국은 전세계에서 처음으로 정지궤도 통신해양기상위성(COMS, communication, ocean and meteorological satellite)에 해색센서 GOCI(geostationary ocean color imager)가 탑재되어 2009년 6월에 발사될 예정이다.

해색센서는 많은 연구자들에 의해 전지구적 규모나 지역적 규모에 대한 해양표층에서의 식물플랑크톤 증식을 연구하는데 중요하다는 것이 밝혀졌다[1~7]. Yoder 등[6]과 Banse과 English[7]는 해색센서에서 관측한 CZCS 영상을 이용하여 전지구적 규모의 식물플랑크톤 색소농도의 계절변화를 연구한 바 있으며, Kim 등[4]은 동해 전해역에서 식물플랑크톤 색소농도의 시 · 공간변동을 EOF(empirical orthogonal function) 해석과 Sverdrup[8]의 임계심도(critical depth) 이론을 사용하여 춘 · 추계 식물플랑크톤 증식의 발생시기에 대하여 밝힌바 있다. 또한, Kim et al.[5]은 수온영상과 해색영상을 이용하여 동한난류 주변 해역에 대한 식물플랑크톤 색소농도의 공간적 분포를 해역별로 구분한 바 있다.

해수의 광학적 특성은 해수 중 물질의 흡수계수와 후방산란계수로부터 분류하며, 식물플랑크톤에 의해 해수의 광학적 성질이 결정되는 외양수가 Case-I, 식물플랑크톤 및 무기현탁물질 등에 영향을 받는 연안이 Case-II 해수로 분류된다[9]. 우리나라 주변 해역에서 대표적인 Case-I 해역인 동해의 식물플랑크톤 색소농도는 춘계와 추계에 대량 증식이 나타나고, 하계에 낮은 농도를 보이는 온대해역의 대표적인 특징이 뚜렷하다[4]. 반면에 무기 현탁물질 등의 영향으로 탁한 Case-II 해역으로 대표적인 동중국해는 몇 개의 다른 수계의 계절변동 때문에 크게 변동하는 해역으로서[10,11], 춘계와 추계보다 오히려 하계에 식물플랑크톤 색소농도가 높고, 기초생산량은 다른 계절에 비해 하계가 3배 정도 높다[12]. 특히, 동중국해 북부해역의 경우는 하계에 양자강 유출량이 많으면 저염분수가 북동진하여 제주도 부근 해역에 이르는 반면, 유출량이 적으면 중국연안을 따라 남하하여 동중국해의 염분에 많은 영향을 준다[13]. 이러한 양자강으로부터 유입되는 담수의 영향은 동중국해 북부해역에 많은 영양염을 공급하여 기초생물생산력에도 크게 영향을 미칠 것으로 생각된다[14,15].

본 연구에서는 위성에서 관측한 해색영상과 국립수산과학원에서 하계 8월과 9월에 관측한 현장 자료를 이용하여 동중국해 북부해역의 클로로필 a의 시공간적 분포 특성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 자료

해색센서 SeaWiFS에서 관측한 동중국해 북부해역의 하계 클로로필 a 값과 국립수산과학원에서 하계 8월과 9월에 조사한 현장관측 값을 분석하기 위하여 현장관측 시기와 근접한 8일간의 평균 클로로필 a 및 nLw 555 nm 파장대의 복사휘도 값 영상을 이용하였다(Table 1). 해색영상은 NASA의 Goddard Space Flight Center Earth Science Distributed Active Archive Center에서 제공하는 Orbview-2/SeaWiFS 8일 평균 클로로필 a와 nLw 555 영상을 2000년부터 2005년까지 6년간 수집하였다. 여기서 nLw(normalize water-leaving radiance)는 대기권 밖의 평균 태양복사조도가 대기의 영향 없이 직접 해수면에 수직으로 입사되었다고 가정할 때 수직으로 되돌아 나오는 복사휘도 값을 말한다.

본 연구에 이용한 위성영상 자료는 NASA에서 제공하는 Level-3 Standard Mapped Image version-5로서 2007년 7월에 update 된 각 픽셀의 해상도가 9 km

Table 1. Relationship between in-situ and satellite data

Year	In-situ (day)	Satellite (8-day)	Chl-a (lines)
2000	8.03-8.06	8.04-8.11	315,316,317
2001	8.17-8.24	8.14-8.20	315,316,317
2002	8.14-8.16	8.14-8.20	315,316,317
2003	8.23-8.25	8.21-8.28	315,316,317
2004	9.02-9.04	8.28-9.04	315,316,317
2005	8.08-8.14	8.05-8.12	315,316,317

×9 km 인 글로벌 자료이다. 클로로필 a 농도는 Chl = $10^{0.00006 \times DN - 2.0}$ 식을 이용하였으며, Chl은 클로로필 a (mg/m^3), DN은 16비트 영상의 digital number 값이다. 클로로필 a 및 nLw 555 영상처리는 NASA에서 제공하는 SeaDAS(SeaWiFS Data Analysis System) 프로그램을 이용하여 본 연구해역인 동경 119-129°E, 북위 25-35°N 해역을 잘라서 복사휘도 값과 클로로필 a 농도 값으로 환산하여 각각의 영상을 작성하였다(Fig. 1).

현장관측 자료는 국립수산과학원에서 정기적으로 수행하고 있는 동중국해 북부해역 3개 정선(315선, 316선, 317선)에서 2000년부터 2005년까지 6년간 하계 8월과 9월에 조사한 표층의 클로로필 a와 염분 자료를 이용하였다(Fig. 1). 이들 자료는 315선과 316선에서 각각 11개 정점, 317선의 10개 정점에서 관측한 총 32개 정점이며, 클로로필 a는 국립수산과학원에서 발행한 동중국해 chlorophyll-a 및 부유물질 자료집[16]을 이용하였다.

2.2. 방법

위성에서 관측된 양자강 유출수 주변 해역의 클로로필 a 농도는 순수한 클로로필 a 농도 값보다는

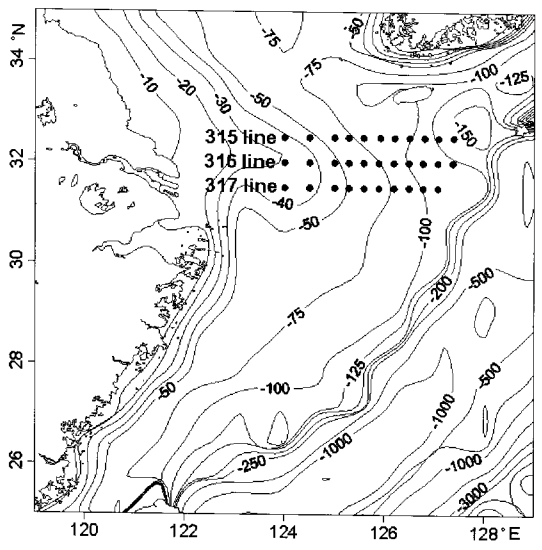

Fig. 1. Study area and location of the sampling sites in the East China Sea. Black points indicate the serial oceanographic stations of National Fisheries Research & Development Institute (NFRDI). The contour lines are bathymetry.

육지로부터 공급되는 여러 가지 부유물질 등에 영향을 많이 받는다(Figs. 2-3). 이러한 부유물질 등에 의한 위성관측 클로로필 a 값의 오류 값을 제거하기 위하여 국립수산과학원에서 조사하고 있는 동중국해 315선에 해당되는 북위 32.5°N 선상의 동경 120-128°E에서 6년간(2000-2005) 클로로필 a와 nLw 555 영상으로부터 추출한 복사휘도 값 사이의 관계를 분석하였다. 여기서 nLw 555 영상은 부유물질 등에 의한 영향을 파악하는데 용이한 영상으로서 중국 연안해역 부근에서 부유물질 등에 의해 클로로필 a 값이 과대평가된 값을 제거하기 위하여 이용하였다. 클로로필 a 영상은 구름 등에 의한 에러 값을 제거하고, 에러 값으로 제거된 영상의 빈공간은 격자 간격에 대한 내삽 보간 방법 중 하나인 kriging 방법을 적용하여 새로운 영상을 작성하여 연도별 클로로필 a와 클로로필 a 편차(anomaly)의 공간분포를 각각 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 위성관측 클로로필 a 에러 값 제거

위성관측에서 과대평가된 클로로필 a 값에 대한 오류 값을 제거하기 위하여 국립수산과학원에서 조사하고 있는 동중국해 315선에 해당되는 북위 32.5°N 선상의 동경 120-128°E에서 2000년부터 2005년까지 6년간 클로로필 a와 nLw 555 영상으로부터 추출한 복사휘도 값의 profile을 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4에서 클로로필 a의 저농도 값을 잘 나타내기 위하여 스케일은 log로 표시했으며, 클로로필 a 농도 값 중 60 mg/m^3 이상은 구름 및 육지에 해당되는 에러 값이다. nLw 555에서 추출한 복사휘도 중에서 1.27($mW/cm^2/um/sr$) 값은 육지와 같은 복사휘도 값이고, 2000년을 제외한 2001-2005년의 경우는 육지에서 약 110km 정도 떨어진 122°E 부근까지 확장되었다. 여기서 육지부근에서 약 50km 떨어진 곳은 클로로필 a 농도 값이 60 mg/m^3 이상으로 구름에 의한 에러 값이며, 해양에서 관측된 부유물질 등에 의한 농도 값은 아니다. 특히, 2004년의 경우, 123-124°E 사이에서 1.2($mW/cm^2/um/sr$) 이상의 높은 복사휘도 값을 나타내고 있으나, 클로로필 a 농도 값은 6.0 mg/m^3 이하로 구름에 의한 에러 값과의 차이를 확실히 보여주고 있다. 또한, 일부 외해

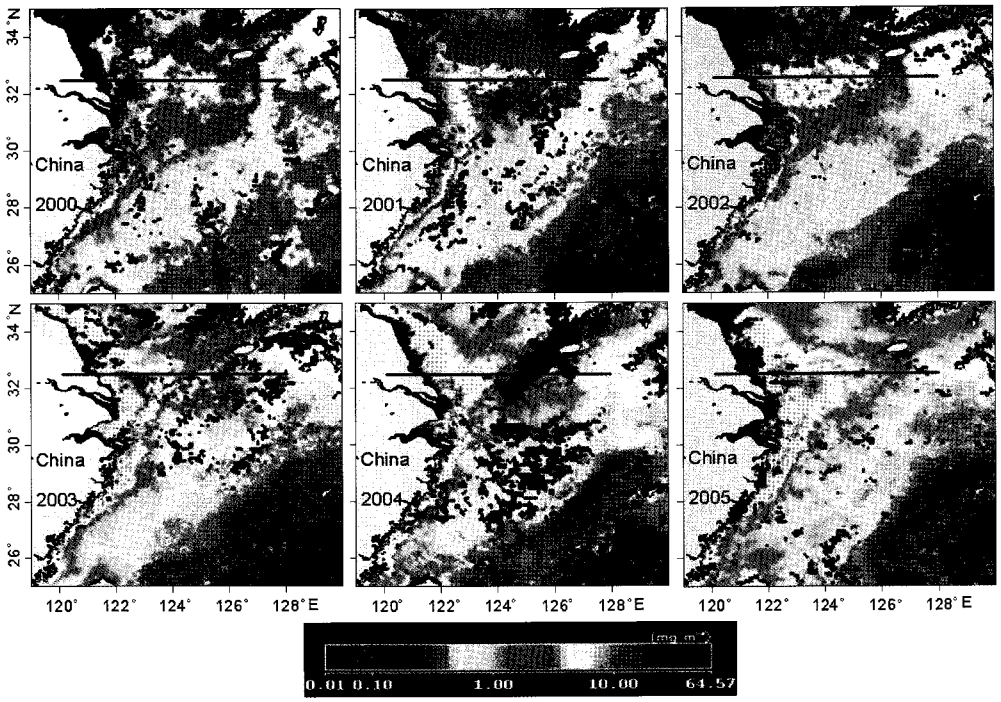

Fig. 2. Horizontal distributions of chlorophyll a (mg/m^3) derived from SeaWiFS images in August and September during 2000-2005.

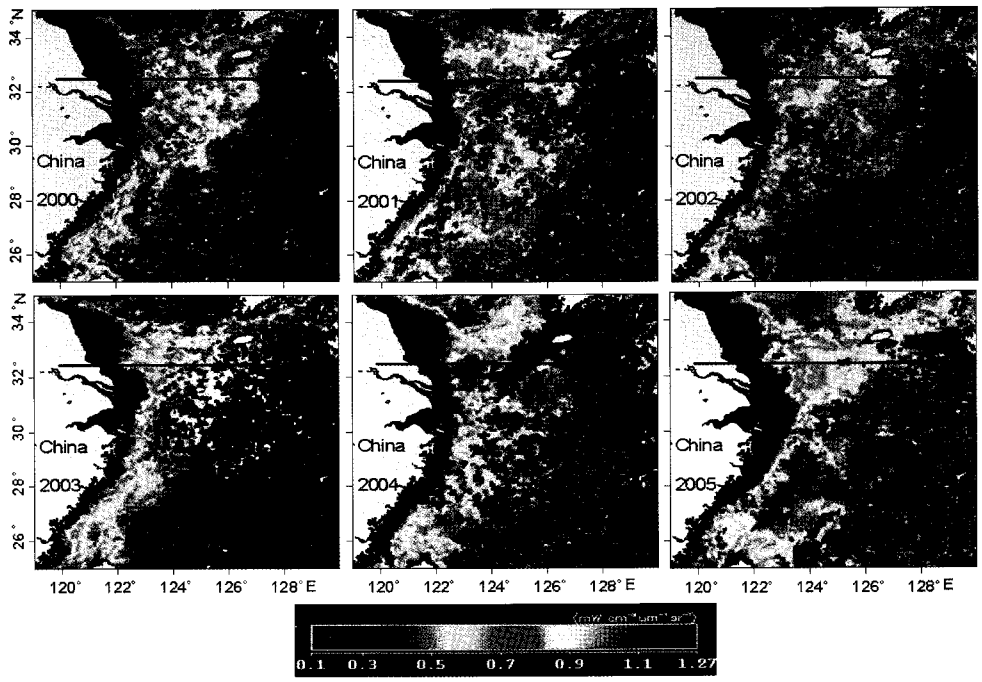

Fig. 3. Horizontal distributions of normalized water-leaving radiance at 555 nm derived from SeaWiFS images in August and September during 2000-2005.

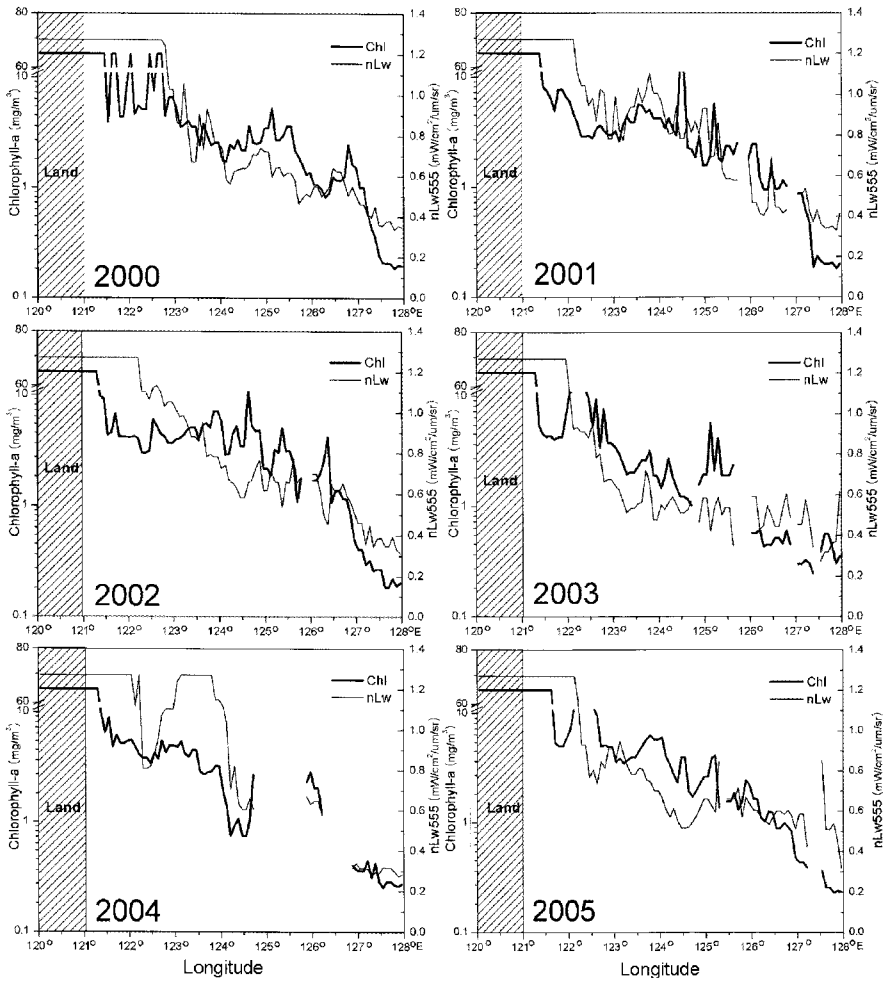

Fig. 4. Profiles of chlorophyll a (mg/m^3) and normalized water-leaving radiance at 550nm (mW/cm^2/um/sr) along the 32°N during 2000-2005.

쪽에 클로로필 a 농도가 20-30 mg/m^3 인 곳도 있으나, 구름 등에 의한 에러 값 이외의 대부분 클로로필 a 농도는 10 mg/m^3 이하에 분포하고 있는 것을 알 수 있다. Gong et al.[12]과 Yoon et al.[17]이 1998년 6-7월과 2004년 6월에 제시한 자료에서도 양자강 주변해역의 클로로필 a 농도는 대체로 6 mg/m^3 이하를 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 10 mg/m^3 을 초과하는 클로로필 a 고농도는 순수한 식물플랑크톤에 의한 색소농도 값보다는 부유물질 등과 혼합된 에러 값이며, 구름 등을 포함한 에러 값과 함께 이들을 제거하여 Figs. 5-6과 같이 새로운 영상을 작성하였다.

3.2. 연도별 클로로필 a의 공간분포

현장관측시기와 가까운 하계 8일간의 평균 위성영상(Table 1)을 이용한 클로로필 a의 6년간(2000-2005년) 평균과 표준편차를 Fig. 5에, 각 연도별 클로로필 a 영상을 Fig. 6에 나타내었다. 여기서 클로로필 a 영상은 10 mg/m^3 을 초과하는 농도 값을 제거한 것이다.

클로로필 a 평균 영상에서는 5 mg/m^3 이상의 고농도가 연안을 따라서 분포하였고, 연안과 외해의 중간 해역에 해당되는 곳에서는 클로로필 a 농도가 1-5 mg/m^3, 쿠로시오해역에 해당하는 외해의 클로로필 a 농도는 0.5 mg/m^3 이하로 나타났다(Fig. 5).

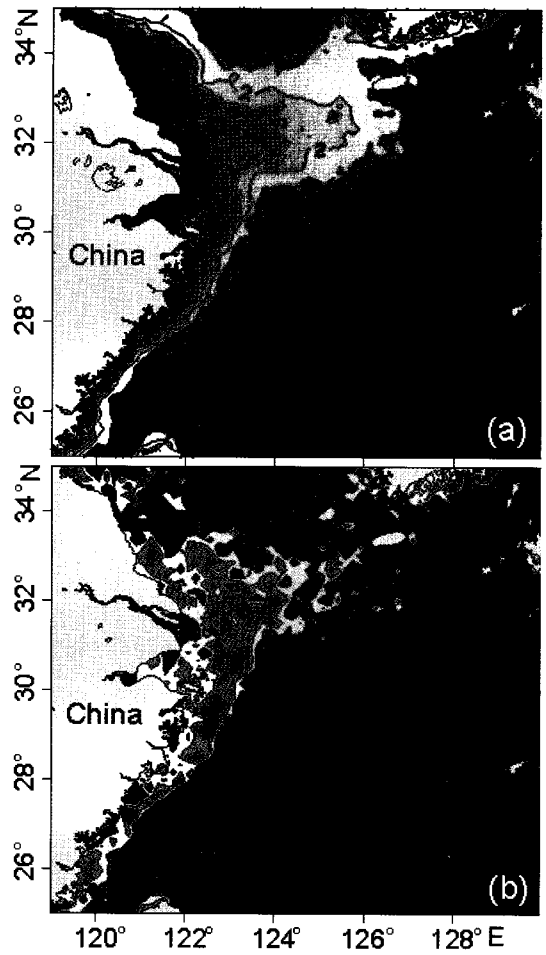

Fig. 5. Mean (a) and standard deviation (b) derived from SeaWiFS chlorophyll a (mg/m^3) imagery during 2000-2005.

특히 1 mg/m^3 이상의 농도는 북위 31-33°N 주변을 중심으로 중국대륙 연안에서 동경 127°E 중부해역까지 동쪽 확장이 두드러지고, 이와 같이 동쪽해역으로의 확장된 농도 분포는 한국 남해안까지 연결되어 나타났다. 표준편차 영상은 중국연안을 따라 클로로필 a 농도가 비교적 높고, 특히 중국대륙 연안에서 약간 떨어진 122-124°E 부근은 호상(arc) 모양으로 상대적인 높은 분산(2-2.5 mg/m^3)을 보여 다른 해역보다 경년별 변화가 많음을 암시하고 있다. 한편, 쿠로시오해역은 클로로필 a 농도가 0.5 mg/m^3 이하로 분산이 낮을 뿐만 아니라 경년별 변화가 적은 안정된 해역임을 알 수 있다.

연도별 클로로필 a 영상에서 1 mg/m^3 이상의 고농도 해역은 동쪽으로 거의 127 °E 부근까지 확장되고 있으며, 123°E 서쪽의 중국 연안을 따라 5 mg/m^3 이상의 고농도가 분포하였다(Fig. 6). 2000년을 제외하고 1 mg/m^3 이상의 농도는 분포 영역의 차이는 있지만, 중국대륙 연안과 한국 남해안이 연결되어 있는 것도 특징적이다. 한편, 쿠로시오해역의 0.5 mg/m^3 이하의 저농도도 연도별 차이는 약간 보이고 있으나, 중국대륙 연안해역보다 큰 농도변화는 보이지 않았다. 특히, 중국 대륙 연안을 따른 5 mg/m^3 이상의 고농도의 동쪽 확장은 2000년, 2003년 및 2005년에 컸으며, 이것은 Fig. 6에서 나타낸 것과 같이 분산이 큰 영역과 관계가 있음을 알 수 있다. Beardsley 등[10]이 제시한 바와 같이 중국대륙 연안부근에 나타난 클로로필 a의 고농도 분포는 중국 연안을 따라 남쪽으로 확장하는 형태와 동쪽 외해로 확장하는 plume과 같은 구조의 두 가지 분포를 나타내었으며, 이들 고농도 해역은 수심 50m 이내의 천해역에 주로 분포하였다(Fig. 1).

3.3. 클로로필 a 편차의 공간분포

각 연도별 클로로필 a 농도 값들의 차이를 보다 상세히 보기위하여, Fig. 6의 각 연도별 클로로필 a 값에서 Fig. 5의 평균 클로로필 a 값의 차이를 계산한 편차 영상을 Fig. 7에 나타내었다.

동중국해 북부해역인 122-124°E 부근에서는 Fig. 6의 표준편차에서 나타난 바와 같이 연도별 편차가 심하며, 2000년, 2003년, 2005년에 평균 농도보다 약 2-4 mg/m^3 높게 나타났다(Fig. 7). 2000년에는 북위 30°N 이남의 중국대륙 연안을 따른 해역과 30-34°N 부근에서는 122-123.5°E 해역에서 평균 농도보다 1-3 mg/m^3 의 고농도, 2003년은 북위 27-33°N에서 중국연안을 따라 1-5 mg/m^3 으로 평균보다 고농도를 보였다. 특히, 2005년은 다른 연도에 비해 북위 30.5-32.5°N에서 5 mg/m^3 이상으로 평균보다 가장 높은 농도를 보였다. 2001년과 2005년은 중국대륙의 연안을 따라서 1-3 mg/m^3 평균보다 낮았고, 양자강 유출수 입구인 북위 30-32°N에서는 2001년과 2004년이 평균 농도보다 1-2 mg/m^3 낮았다. 여기서 클로로필 a가 평균보다 저농도를 보인 연도 중에서 2001년은 32°N 선상의 123-124°E 부근에서 2.5-4

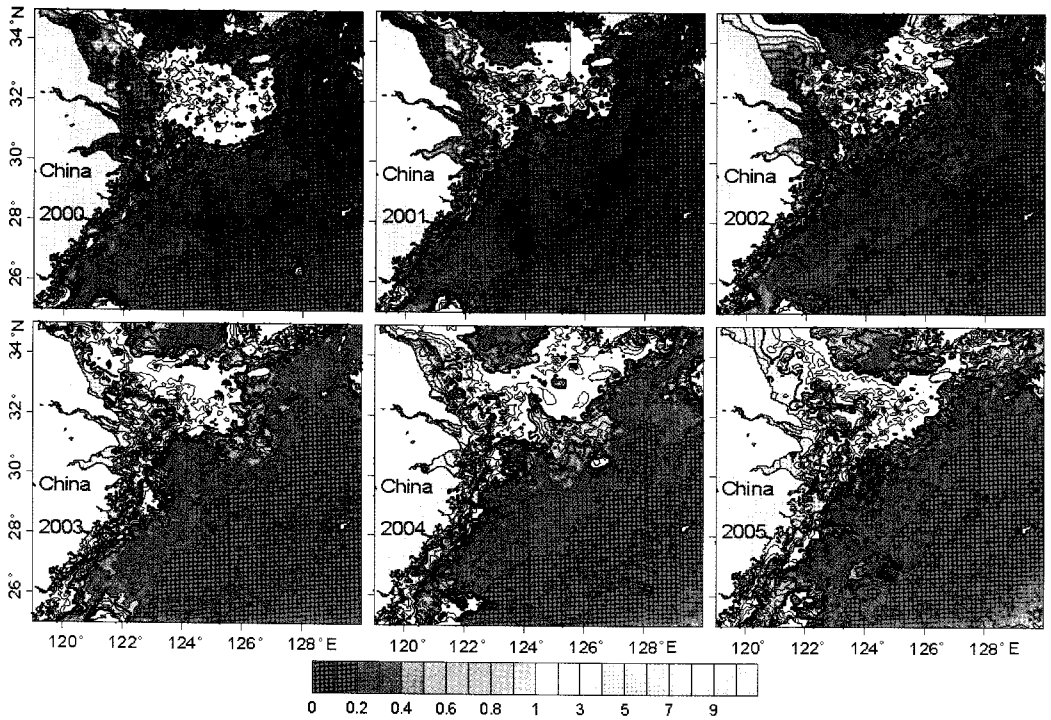

Fig. 6. Horizontal distributions of 8-day chlorophyll a (mg/m^3) derived from SeaWiFS images during 2000-2005.

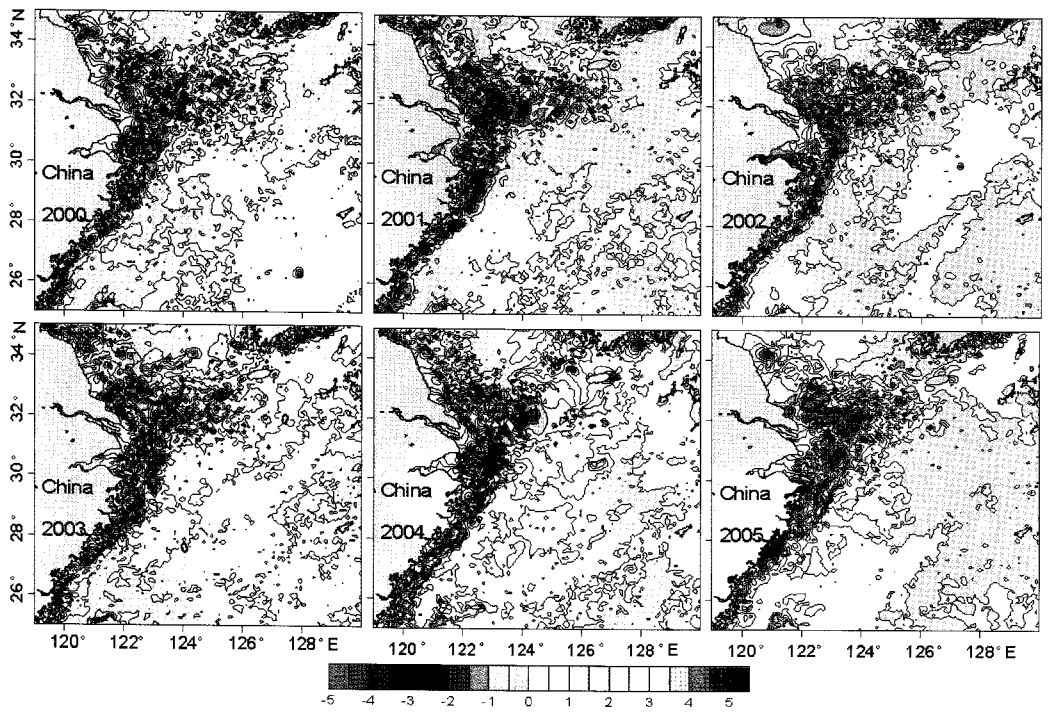

Fig. 7. Anomaly of 8-day chlorophyll a (mg/m^3) images derived from SeaWiFS images during 2000-2005.

mg/m^3, 2005년은 북위 27-28°N의 중국연안에서 4 mg/m^3 이상으로 평균 보다 아주 낮은 농도를 나타내었다.

Case-I 해역에 해당하는 쿠로시오해역은 하계에 클로로필 a의 공간적인 변동이 ±0.5 mg/m^3 이하로 연도별 차가 거의 없는 반면에, 양자강 유출수 주변해역은 연도별 차이가 큰 것을 알 수 있었다. 이것은 Ning 등[11]과 Tang 등[18]이 해색센서 CZCS를 이용하여 중국 연안에 높은 클로로필 a 농도가 양자강 유출수에 의한 것이라고 제시한 것과 Ichikawa와 Beardsely[13]가 하계에 양자강 유출량이 많으면 저염분수가 북동진하고 유출량이 적으면 중국연안을 따라 남하한다고 한 것과 관계가 있을 것으로 생각된다. 본 연구에서 양자강 유출수의 확산에 대한 자료는 확보하지 못 했지만, 양자강 유출수 주변해역의 연도별 클로로필 a 농도변화가 크게 나타나고 있는 것은 양자강 유출수와 관계가 있음을 시사하고 있다.

3.4. 위성 및 현장 관측 클로로필 a와 염분의 시공간적 분포

국립수산과학원에서 수행하고 있는 동중국해 북부해역의 3개선(315선, 316선 및 317선, Fig. 1)에 대한 6년간(2000-2005)의 현장관측 클로로필 a와 염분 및 위성관측의 시공간적 분포를 Fig. 8에 나타내었다.

위성관측 클로로필 a 농도는 3개선 모두 125°E 서쪽해역에서 2 mg/m^3 이상의 고농도를 보였다. 클로로필 a가 2 mg/m^3 인 곳의 농도는 315선에서 126°E 부근, 316선에서 2002년을 제외하고 125°E 부근,

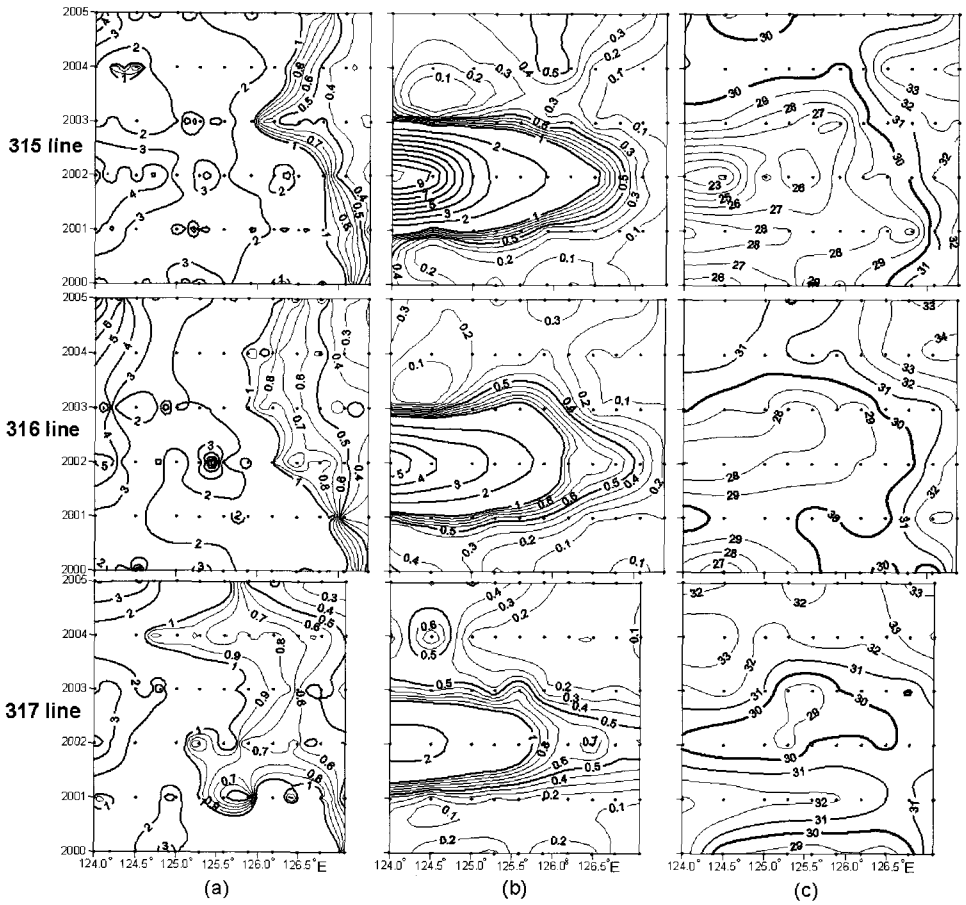

Fig. 8. Temporal and spatial distributions of chlorophyll a (mg/m^3) derived from SeaWiFS (a) and in-situ (b), and in-situ salinity (c) at lines of 315, 316 and 317 during 2000-2005.

317선에서 124.7°E 부근까지 분포하였고, 315선에서 317선으로 갈수록 동서확장의 폭이 축소된 것을 알 수 있다. 특히, 2002년과 2005년에는 3개선 모두 4 mg/m^3 이상의 고농도가 분포하였고, 315선과 316선 주변해역에서는 2003년과 2004년에 2 mg/m^3 이하로 상대적으로 낮은 농도를 보였다. 한편, 126°E 동쪽에서는 1 mg/m^3 이하의 저농도가 315선에서 317선의 남쪽으로 갈수록 그 농도 분포가 동서로 넓게 분포하였다.

현장관측 클로로필 a의 농도 값은 3개선 모두 2002년에 125°E 서쪽해역에서 2-9 mg/m^3 범위로 다른 해에 비해 상당히 높은 농도를 보였다. 315선은 2002년에 중국대륙 연안에 가까운 정점에서 9 mg/m^3 이상으로 가장 높았고, 2 mg/m^3 의 고농도가 125.5°E까지 확장된 것을 알 수 있다. 반면에 쿠로시오해역에 해당하는 0.5 mg/m^3 이하의 저농도는 2001년과 2004년에 전 정점에 분포하였다. 316선은 2002년에 5 mg/m^3 이상의 고농도가 315선과 같이 중국대륙 연안에 가까운 정점에서 보였고, 2 mg/m^3 의 고농도는 315선보다는 약간 축소되어 나타났다. 쿠로시오해역에 해당하는 0.5 mg/m^3 이하의 저농도는 2001년, 2004년과 2005년에 전 정점에 분포하였고, 이 농도 분포 해역은 315선보다 약 0.1 mg/m^3 낮은 농도를 나타내었다. 317선도 중국대륙 연안에 가까운 정점에서 315선 및 316선과 같이 2002년에 2 mg/m^3 이상의 고농도를 보였고, 2 mg/m^3 의 고농도는 315선 및 316선보다는 축소된 124.5°E 부근까지 나타났다. 쿠로시오해역에 해당하는 0.5 mg/m^3 이하의 저농도는 2000년, 2001년 및 2005년에 전 정점에 분포하였고, 2004년에는 국소적으로 124.5°E 부근에서 0.5 mg/m^3 이상의 농도를 보였다.

현장관측 클로로필 a의 값 중에서 2002년의 경우는 3개선 모두 다른 해 보다 클로로필 a의 농도 값이 높았고, 315선은 현장관측 값이 위성관측 값보다 약 2배 정도 높았다. 현장관측 클로로필 a 농도가 높은 해역은 염분의 분포로서 설명이 가능하다. 즉, 현장관측 클로로필 a 농도 값이 1 mg/m^3 이상인 해역은 3개선에서 대체로 30 psu 이하의 저염분이 분포하고 있으며, 315선은, 27 psu, 316선은 29 psu, 317선은 30 psu와 잘 일치한다. 이와 같이 클로로필 a 값이 다른 해에 비해 2002년이 높은 것은 영양염이 풍부한 연안수가 포함된 양자강 유출수에 의한 30 psu 이하의 저염분수 확장과 관계있는 것으로 생각된다. 양자강 유출수의 정의는 여러 연구자들 간에 차이는 있지만 대체로 30 psu 이하가 그 index로서 자주 사용되었으며[19~22], Kiyomoto 등[23]도 동중국해에서 하계에 고농도의 클로로필 a 농도가 저염분수(30.0-32.1 psu) 해역과 잘 일치함을 제시하였다. 2002년도에 양자강 유출수가 어느 정도 방출되어 동중국해 북부해역까지 영향을 주었는지는 본 연구에서는 중국 자료가 없어서 알 수 없으나, Wang and Wang[24]은 양자강 유출수의 확장을 저염분수와 관련하여 3 단계로 나누어 설명하고 있다. 첫 번째는 양자강 유출수가 해양에 들어간 후 남동쪽으로 흘러 31°N, 122.5°E에서 왼쪽으로 유입되고, 두 번째는 6-26 psu의 저염분수가 혀 모양으로 제주도 방향으로 확장되고, 마지막으로는 그 유출수가 남동쪽으로 확산된 다음 쿠로시오 동쪽으로 확산된다고 하였다. 본 연구에서 제주도 부근에 가까운 315선의 경우 26 psu 이하의 양자강 희석수가 혀 모양으로 125.5°E 까지 확장하고 있는 것은 Wang과 Wang[24]이 제시한 양자강 유출수 확장의 두 번째 결과와 잘 일치한다.

4. 결 론

해색영상은 광역 해역에 대한 클로로필 a 등 많은 해색정보를 제공해 주었다. 그러나 중국 연안과 같은 혼탁한 Case-II 해역에서는 정성적인 분포 패턴을 보기에는 좋지만, 클로로필 a 등과 같은 것을 정량적으로 나타내기에는 현장관측 자료의 축적에 의한 보정 작업이 많이 필요한 실정이다. 특히, 위성관측과 현장관측 클로로필 a 값의 차이를 보면, 위성자료 값이 현장관측 값보다 대체로 3-20배 과대평가된 것을 알 수 있었다. 위성 및 현장 관측 자료 사이에는 현장관측 자료 일수와 NASA에서 제공한 8일간의 평균 해색영상과는 일수 차이가 있으며, 해색영상은 주로 낮 시간에 관측된 자료인 반면에 현장관측 자료는 낮과 밤에 대한 자료를 모두 사용하였기 때문에 주야간에 대한 농도 값에 대한 차이도 포함되어 있을 것으로 생각된다. 또한, 본 연구에서는 클로로필 a 농도가 10 mg/m^3 초과되는 것만 부유물

질에 의한 영향으로 제거를 시켰지만, Case-II 해역에서는 대기에 의한 영향도 무시할 수 없다[25]. 본 연구에서는 국립수산과학원에서 조사한 자료를 기초로 살펴보았지만, 향후 중국연안의 자료가 보완된다면 보다 정밀도 높은 알고리즘의 개선으로 클로로필 a 값의 정량화가 가능할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 국립수산과학원(첨단위성 해양정보활용시스템 운영, RP-2007-ME-036)의 연구비 지원, 한국해양연구원의 "위성자료를 이용한 황사발생 전후의 한반도 근해 해양환경요소의 분포특성" 및 "양자강 유출수에 의한 해양환경변동" 연구 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1) Eslinger D. L., O'Brien J. J., Iverson R. L., 1989, Empirical orthogonal function analysis of cloud-containing coastal zone color scanner images of northeastern North American coastal waters, J. Geophys. Res., 94, 10884-10890.
2) Ishizaka J., Fukushima H., Kishino M., Saino T., Takahashi M., 1992, Phytoplankton pigment distributions in regional upwelling around the Izu Peninsula detected by coastal zone color scanner on May 1982, J. Oceanogr., 48, 305-327.
3) Obata A., Ishizaka J., Endoh M., 1996, Global verification of critical depth theory for phytoplankton bloom with climatological in situ temperature and satellite ocean color data, J. Geophys. Res., 101, 20, 657-667.
4) Kim S.W., Saitoh S., Ishizaka J., Isoda Y., Kishino M., 2000, Temporal and spatial variability of phytoplankton pigment concentrations in the Japan Sea derived from CZCS images, J. Oceanogr., 56, 527- 538.
5) Kim S. W., Saitoh S., Kim D. S., 2002, Spatial distribution of pigment concentration around the East Korean Warm Current region derived from satellite data, J. Korean Fish. Soc. 35, 265-272.
6) Yoder J. A., McClain C. R., Feldman G. C., Esaias W.E., 1993, Annual cycles of phytoplankton chlorophyll concentrations in the global ocean: A satellite view, Global Biogeochem. Cycles, 7, 181-193.
7) Banse K., English D. C., 1994, Seasonality of coastal zone color scanner phytoplankton pigment in the offshore oceans, J. Geophys. Res., 99, 7323-7345.
8) Sverdrup H. U., 1953, On conditions for the vernal blooming of phytoplankton, J. Cons. Int. Explor. Mer., 18, 287-295.
9) Morel A., Prieur L., 1977, Analysis of variations in ocean color, Limnol. Oceanogr., 22, 709-722.
10) Beardsley R.C., Cannon, G.A., Yu, H., Limeburner, R., 1985, Discharge of the Changjing (Yangtze river) into the East China Sea, Continental Shelf Research, 4, 57-76.
11) Ning X., Liu Z., Cai Y., Fang M., Chai F., 1998, Physicobiological oceanographic remote sensing of the East China Sea: Satellite and in situ observations, J. Geophys. Res., 103(C10), 21623-21635.
12) Gong G. C., Wen Y. H., Wang B. W., Liu G. J., 2003, Seasonal variation of chlorophyll a concentration, primary production and environmental conditions in the subtropical East China Sea, Deep-See Research II, 50, 1219-1236.
13) Ichikawa H., Beardsely R. C., 2002, The current system in the Yellow and East China Seas, J. Oceanogr., 58, 77-92.
14) Guo Y. J., Zhang Y. S., 1996, Characteristics of phytoplankton distribution in Yellow Sea, The Yellow Sea, 2(1), 90-103.
15) Oh H. J, Kang Y. S., Park J. H., 1999, Distributional characteristics of chlorophyll a and oceanographic conditions in the northern part of East China Sea, J. Korea Fish. Soc., 32(1), 88-97.
16) NFRDI, 2007, Data of chlorophyll-a and total suspended matter in the East China Sea (2000-2005), 35pp.
17) Yoon Y. H, Park J. S., Park Y. G., Soh H. Y., Hwang D. J., 2005, A characteristics of thermohaline structure and phytoplankton community from southwestern parts of the East China Sea during early summer, Bull. Korea Soc. Fish., 41, 129-139.
18) Tang D. L., Ni I. H., Muller-Karger F.E., Liu, J. J., 1998, Analysis of annual and spatial patterns of CZCS-derived pigment concentration on the continental shelf of China. Cont. Shelf Res., 18, 1493-1515.
19) Lie H. J., 1984, A note on water masses and general circulation in the Yellow Sea (Hwanghae), J. Oceanol. Soc. Korea, 19, 187-194.
20) Kim K., Kim K. R., Rhee T. S., Rho H. K., Limeburner R., Beardsley R. C., 1991, Identification of water masses in the Yellow Sea and the East China Sea by cluster analysis, 253-267. In Oceanography of Asian Marginal Seas, ed. by Takano K., Elsevior, Amsterdam.
21) Su Y. S., Weng X. C., 1994, Water masses in China Seas. 3-16, In Oceanology of China Seas, Volume I,

ed. by Zhou et al., Kluwer Academic Publishers.
22) Hur H. B., Jacobs G. A., Teague W. J., 1999, Monthly variations of water masses in the Yellow and East China Seas, J. Oceanogr., 55, 171-184.
23) Kiyomoto Y., Iseki K., Okamura K., 2001, Ocean color satellite imagery and shipboard measurements of chlorophyll a and suspended particulate matter distribution in the East China Sea, J. Oceanogr, 57, 37-45.
24) Wang B., Wang X., 2006, Impact of the exceptionally high flood from Changjiang river on the aquatic chemical distributions on the Huanghai Sea and East China Sea shelves in the summer of 1998, Acta Oceanologica Sinica, 25, 43-52.
25) Ahn Y. H., Shanmugam P., 2004, New methods for correcting the atmospheric effects in Landsat imagery over turbid waters, Korean J. Remote Sensing, 20, 289-305.