

# 동해 SeaWiFS 클로로필-*a*의 스펙클 오차를 제거한 합성장 생산

채화정<sup>1</sup> · 박경애<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 과학교육과, 151-742, chae310@snu.ac.kr

<sup>2</sup>서울대학교 지구과학교육과/해양연구소, kapark@snu.ac.kr

## A Methodology for Speckle-free SeaWiFS Chlorophyll-*a* in the East Sea

Hwa-Jeong Chae<sup>1</sup> and Kyung-Ae Park<sup>1,2</sup>

**요약:** 동해의 SeaWiFS 클로로필-*a*에서 나타나는 스펙클(speckle) 오차를 제거하고 Level-2에서 Level-3로의 자료합성을 실시하였다. 1998년부터 2007년까지 10년간 클로로필-*a*의 시공간 변동성을 고려하여, 월 평균값으로 표준화된 공간적 표준편차가 7 mg/m<sup>3</sup> 이상 될 때를 경계 값으로 스펙클 제거기준을 설정하였다. 농도경사가 큰 전선지역과 연안으로부터 10-50 km 이내 지역은 제거 기준을 12 mg/m<sup>3</sup> 이상으로 알고리즘을 구성하였다. 스펙클 제거 결과, 자료는 그대로 보존되고 스펙클이 존재하는 화소의 값만 줄어들었다. 특히 스펙클이 자주 발생하는 겨울철 클로로필 자료의 농도변화가 크게 나타났으며 스펙클이 많이 나타나는 시기에는 5°×5°영역의 평균값이 10%이상 감소하는 결과를 보였다.

### 1. 서론

1997년에 발사된 인공위성 SeaWiFS 해색센서로부터 수신된 Level-3 클로로필-*a* 자료는 기본적으로 NASA에서 처리되어

배포되고 있으며 이는 많은 해석 연구자들에게 클로로필 변동성 및 기후변화와 관련된 생태계 연구에 널리 활용되고 있다. 그러나 SeaWiFS Level-3 자료에는 비정상적으로 큰 오차값이 스펙클 형태로 분포한다는 것이 보고되었다(Hu et al., 2000a, 2000b; Patt et al., 2003). 이러한 스펙클 오차를 줄이기 위한 알고리즘이 개발되어 왔음에도 불구하고 여전히 NASA에서 제공되는 SeaWiFS 자료안에는 스펙클 오차가 포함되어 있다. 이런 오차를 줄이기 위해서는 원천적으로 클로로필 농도 산출과정에서 오차를 계산하지 않도록 하는 장치가 필요하나, 현재 알고리즘 상에서 제대로 작동하지 않고 있기 때문에 제공된 자료로부터 스펙클 오차를 제거하는 기술이 필요하다.

다른 해역과 달리 특히 동해 겨울철에는 스펙클 오차가 두드러지게 나타난다. 따라서 본 연구에서는 동해 지역의 SeaWiFS Level-2 클로로필-*a* 자료에 포함된 스펙클을 제거 기준을 설정하고, 오차 제거 후

Level-3로 합성하여 좀 더 정확도 높은 자료를 제시하는데 목적이 있다.

## 2. 자료 및 방법

본 연구에 활용한 인공위성 자료는 NASA Goddard Space Flight Center에서 제공하는 SeaWiFS 센서의 자료 중에서 Level-2 Global Area Coverage(GAC) 자료와 Level-3 Standard Mapped Image(SMI)를 사용하였다. Level-2 GAC 자료는 디지털 신호 값의 보정(calibration)과 위치 보정(navigation)이 처리되어 있으며 4.5 km의 공간 해상도를 가진다. Level-3 자료는 위성이 관측한 Level-2 자료를 시공간적으로 합성한 자료이다. 9 km×9 km 영역 안에 관측된 모든 SeaWiFS 클로로필-*a* 자료에 통계적 처리를 하여 하루, 일주일, 한 달 등 주어진 시간 간격에 대한 시공간 합성장을 생산하여 SMI Level-3 자료 형태로 배포되고 있다(Campbell et al., 1995).

Level-2에서 Level-3로의 자료 합성은 가중 자료의 Arithmetic mean(AVG) 방법을 사용하는데 이는 식 (1)과 같이 최종 평균 합성장의 한 화소에 해당하는 9 km×9 km 영역 안에 있는 모든 클로로필 자료들( $x_{ij}$ )을 공간 영역에서 합한 뒤, 그 자료 개수( $x_{ij}$ )에 대하여 시간 영역에서 다시 가중치를 각각 주어서 평균을 구하는 방법이다

$$\bar{X}_{avg} = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^N \frac{1}{\sqrt{n_i}} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij},$$

$$W = \sum_{i=1}^N \sqrt{n_i} \quad (1).$$

여기서  $i$ 는 시간,  $j$ 는 공간을 나타내고  $n_i$ 는  $i$ 시간에서 최종 평균장의 한 화소 안에 관측된 자료의 개수를 의미한다.  $x_{ij}$ 는  $i$ 시간에  $j$ 번째 공간에서 관측된 클로

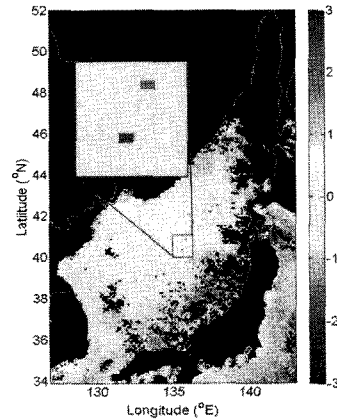


Fig. 1. Example of anomalously high chlorophyll-*a* concentration (speckle) in December 2006.

로필-*a* 농도이며  $\sqrt{n_i}$ 는 가중치,  $W$ 는 가중치의 시간적 합이다.  $\bar{X}_{avg}$ 는 AVG를 통해 시공간 합성된 클로로필-*a* 농도의 합성장이다(Campbell et al., 1995; Antoine et al., 2004).

## 3. 연구 결과

### 3.1 계절별 스펙클 분포

동해의 클로로필-*a* 농도는 강한 계절변동을 보인다(Yamada et al., 2004). 클로로필은 봄철에 크게 변성하는데 특히 연해주(Primorye coast)를 따라 강하게 나타난다. 여름철에는 매우 낮은 농도를 보이고 가을철에 증가하는 경향을 나타내다가 다시 겨울이 되면서 줄어드는 양상을 띤다.

SeaWiFS 자료에서 나타나는 스펙클 또한 계절적으로 분포 양상이 다르다. 봄철에는 스펙클이 약간 보이긴 하나 봄철 변성이 크게 일어난 지역보다 오히려 스펙클 값이 작아 특징적인 분포를 보여주지 않는다.

여름철에는 클로로필 농도가 매우 낮은

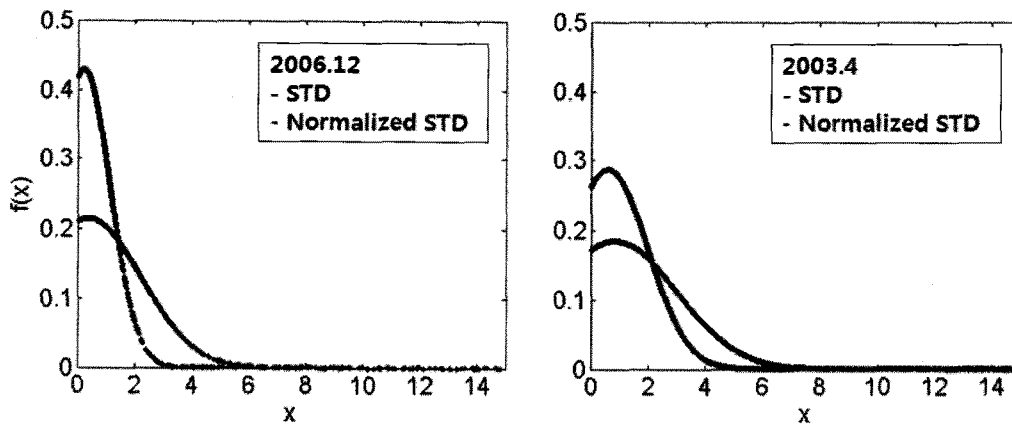


Fig. 2. Comparison of probability density function of standard deviation(STD ) and normalized STD for the two cases ; (a) December 2006, (b) April 2003.

시기이면서 스펙클은 거의 관측되지 않다가 가을이 되면서 스펙클들이 관측되기 시작한다. 동해에서 스펙클은 겨울철에 가장 크게 분포한다. 전반적으로 클로로필 농도가  $1 \text{ mg/m}^3$  이하로 매우 낮은 시기인데도 불구하고  $8 \sim 12 \text{ mg/m}^3$  이상 매우 큰 값이 스펙클 형태로 나타난다. 이런 스펙클들은 매우 높은 값을 가지기 때문에 겨울철 자료의 10년 평균장에서도 스펙클들이 관측된다.

### 3.2 스펙클 제거기준

Level-3 자료는 Level-2 자료를 시공간 합성한 통계적 자료이기 때문에 Level-3 자료에서 스펙클을 제거하면 시공간적으로 많은 자료의 손실이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 Level-2 자료에서 나타나는 스펙클을 제거하고 자료합성을 통하여 Level-3 자료를 생산하였다.

Level-2 자료에서 육안으로 관측되는 스펙클들은 공간적으로  $0.2^\circ \times 0.2^\circ$  영역에서  $5 \sim 30 \text{ mg/m}^3$  이상 다양한 표준편차를 보였다. 공간적 표준편차를 기준으로 스펙클을 제거하려고 하였으나 계절에 따라 다양하

게 분포하여 단일한 기준을 적용할 수 없었다. 겨울철에는 클로로필 농도는 낮은데 표준편차는 낮은 값에서 일부 높은 값까지 다양하게 나타났다. 반면 봄철에는 강한 농도경사가 형성된 연해주 부근에서 클로로필 농도와 표준편차 모두 높은 값을 보였다. 따라서 이러한 강한 계절변동을 고려하여 스펙클을 제거하기 위해 각 시기의 공간 표준편차 값을 10년간 계절 평균값으로 표준화 하였다(normalizing).

계절 변동의 극단적인 경우를 고려하기 위해 클로로필 농도는 낮으나 스펙클이 크게 분포하는 2006년 12월 자료와, 봄철 클로로필 번성이 매우 크게 나타나는 2003년 4월 자료를 이용하였다. Fig. 2는 두 시기의 공간적 표준편차를 구하여 확률밀도함수로 나타낸 것이다. Fig. 2a의 표준편차는  $4 \text{ mg/m}^3$  이내의 값이 전 면적을 차지하는 것을 알 수 있다. 이는 겨울철에 대부분 낮은 표준편차를 보여주므로 정상 범위에 들지 않는 값들의 경계를 낮게 정할 수 있다는 것을 의미한다. 반면, Fig. 2b의 표준편차는  $8 \text{ mg/m}^3$  이내의 값이 전 면적을 차지하기 때문에 경계 값을 높게

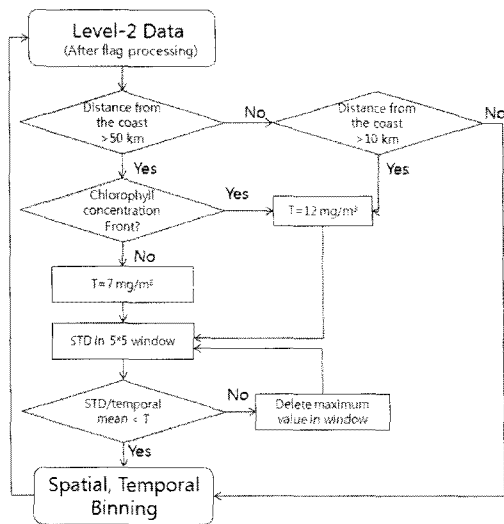


Fig. 3. A brief flow chart of error processing in this study.

정해야 함을 알 수 있다. 즉, 단일한 기준을 정할 수 없다는 것을 보여준다.

Fig. 2에서 파란 선으로 표시한 것은 10년 평균값으로 표준화된 공간적 표준편차(normalized STD)를 보여준다. 봄철의 높은 농도 값이 표준편차를 낮춰주고, 겨울철에는 오히려 낮은 농도 값이 표준편차를 높여 줌으로써 계절적인 차이를 줄여 주었다.

따라서 본 연구에서는 10년 월별 평균값으로 표준화된 공간적 표준편차를 이용하여 스펙클 제거 기준을 설정하였다. Fig. 2에서는 표준화된 공간적 표준편차 값이  $6 \text{ mg/m}^3$  이내에서 99.9% 이상을 차지하지만 그 이상 범위에서도 육안으로 정상적으로 보이는 값들이 제거되기에 여러 기준을 변경해가며 경험적인 기준을 정한 결과  $7 \text{ mg/m}^3$  이상의 값을 스펙클로 정하고 스펙클 제거 알고리즘을 구성하였다.

그럼에도 연해주 지역의 강한 봄철 변성이 나타나는 지역에서는 큰 농도경사로 인한 전선이 형성되어 표준편차가 매우 크게 나타나기 때문에 일부 정상적으로

판단되는 값들이 제거되었다. 따라서 10년간의 월별 평균장의 농도 경사(gradient)의  $3 \times 3$  평활화(smoothing)과정을 거친 결과를 가지고 농도 경사가 크게 나타나는 전선 부근에서의 스펙클 제거 기준을  $12 \text{ mg/m}^3$ 로 높게 설정하였다. 단 10년 월별 평균장을 구하는 과정에서 스펙클이 평균값에 미치는 영향을 최소화하기 위해 각 화소의 최대값은 제거하고 평균장을 산출하였다.

또한, 연안으로부터 10 km 이내는 연안의 높은 변성지역에 해당하기 때문에 스펙클 제거 과정에서 제외하였고, 10~50 km 내에는 제거 기준을  $12 \text{ mg/m}^3$ 로 높였다.

Fig. 3은 본 연구에서 수행한 스펙클 제거 과정의 순서도이다.

### 3.3 스펙클 제거 결과

2006년 12월과 2003년 4월 자료를 가지고 본 연구에서 제시한 알고리즘에 따라 Level-2 일별 자료에서 스펙클을 제거하고 Level-3로의 자료합성을 실시하였다. Fig. 4a,b는 2006년 12월의 스펙클 오차 처리 전과 후를 비교한 결과를 보여준다. 처리 전과 후의 클로로필 농도는 그대로 보존되어 있으면서 스펙클만 제거된 결과를 확인할 수 있다. Fig. 5에 처리 전과 후 클로로필 농도의 각 화소 빈도수를 나타내었다. 점선으로 표시된 영역이 처리 전과 후의 차이를 보여준다. 처리 전의 비정상적으로 높은 농도 값들이 제거된 결과를 나타낸다. Level-2 자료로부터 Level-3로의 합성과정에서 스펙클만 제거되고 나머지 값은 그대로 합성되었기 때문에  $8 \text{ mg/m}^3$  이상의 높은 농도 값들이 줄어든 결과를 보여준다.

2003년 4월의 봄철 자료의 스펙클 처리 결과(Fig. 4c,d) 전체적으로는 처리 전과 후의 변화가 거의 없었다. 클로로필 봄철

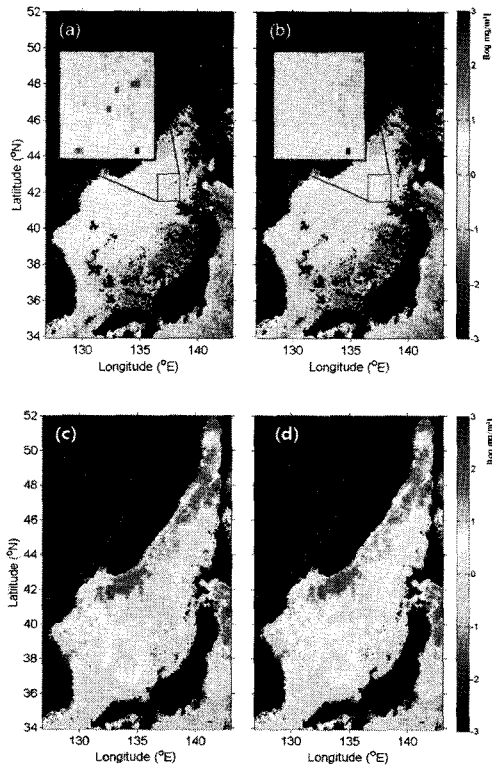


Fig. 4. Comparison of Level-3 monthly composite maps (a, c) before and (b, d) after error processing of speckles for the two cases ; (a, b) in December 2006, (c, d) in April 2003.

변성이 그대로 보존되었다. 그러나 여전히 강한 농도 경사가 형성된 전선부근에서 약간의 자료 손실이 관측되었다. 본 연구에서 오차 제거를 실시한 2003년 4월이 극단적인 경우인 점도 있겠으나 더 효율적인 알고리즘을 개발할 필요성이 있다고 사료된다.

Fig. 6은 1998년 1월부터 2007년 12월까지 10년간 134-139°E, 36-41°N 영역에서 스펙클 제거 과정을 거친 결과의 시계열 분포이다. Level-2 10년 자료가 방대하고, 스펙클 값이 주변 평균값에 비해 매우 크게 나타나기 때문에 스펙클 제거 효과를 보는 데만 목적을 두고 Level-3 자료에서 실시하였다. 겨울철과 일부 봄철을 제외한

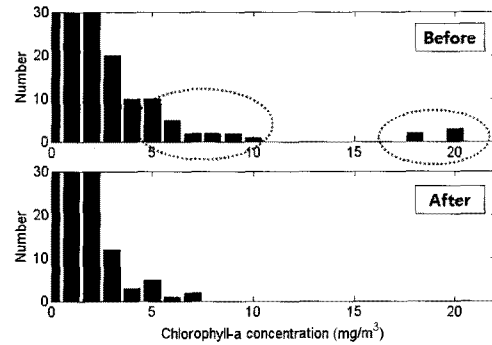


Fig. 5. Histograms of chlorophyll-a concentration between before and after error processing in December 2002.

전 계절의 농도는 그대로 보존되었다. 가장 큰 변화는 스펙클이 크게 분포하는 겨울철에 나타났으며 2001년 12월의 경우에는 12.35%, 2006년 12월은 9.02%까지 감소하는 결과를 보였다.

#### 4. 요약 및 결론

SeaWiFS의 Level-3 클로로필 농도와 스펙클 분포는 시간, 공간적으로 강한 변동성을 보인다. 따라서 스펙클을 제거하는 기준을 설정하기 위해서는 계절 변동과 클로로필이 크게 변성할 때의 공간적 변동성을 고려해야 한다. 본 연구에서는 Level-2 자료의 공간적 표준편차를 10년 월평균 값으로 표준화함으로 계절 변동에 의한 효과를 고려하고, 10년 월평균장의 농도 경사로부터 강한 변동이 형성되는 전선지역을 구분하여 스펙클 제거 알고리즘을 구성하였다.

스펙클 제거 결과, 자료는 그대로 보존되고 스펙클이 존재하는 화소의 값만 줄어들었다. 특히 스펙클이 자주 발생하는 겨울철 클로로필 자료의 농도변화가 크게 나타났으며 스펙클이 많이 나타나는 시기에는 5°×5°영역의 평균값이 10%이상 감소

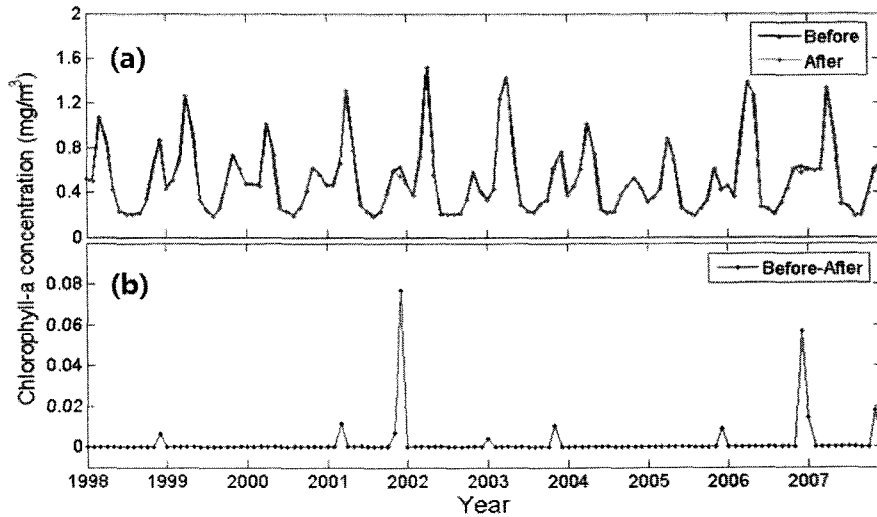


Fig. 6. Time series of (a) monthly mean and (b) differences of chlorophyll-a concentration ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) between before and after error processing on  $134\text{-}139^\circ\text{E}$ ,  $36\text{-}41^\circ\text{N}$ .

는 결과를 보였다.

동해는 다른 해역보다 겨울철 스펙클 오차가 크게 나타난다. 이는 연구 자료 분석에 부정확한 결과를 가져올 수 있기 때문에 스펙클 오차를 제거하는 과정은 매우 중요하다. 따라서 스펙클 오차 발생 원인과 제거에 대한 좀 더 심도 있는 연구가 진행되어야 할 것이다. 이는 해석 자료를 사용하는 연구자들에게 기여한다는 점에서 연구의 가치와 공헌도가 클 것으로 기대된다.

## 5. 사사

본 연구는 정지궤도 해상위성(GOCI)활용 연구 지원사업에 의하여 연구되었습니다.

## 6. 참고문헌 (선택)

Campbell, J.W., Blaisdell, J.M., and Darzi, M. 1995, Level-3 SeaWiFS data products: spatial and temporal binning algorithms. SeaWiFS

Technical Report Series, NASA Technical Memorandum, 104566, 32, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA, 73 p.

Hu, C., Carder, K.L., and Muller-Karger, F.E., 2000b, How precise are SeaWiFS ocean color estimates? Implications of digitization-noise errors. Remote Sensing of Environment, 76, 239-249.

Yamada, K., Ishizaka, J., Yoo, S., Kim, H.C., and Chiba, S., 2004, Seasonal and interannual variability of sea surface chlorophyll a concentration in the Japan/East Sea (JES). Progress In Oceanography, 61, 193-211.