

2단계 필터링 기반 적조 탐지 알고리즘에 관한 연구

- MODIS 클로로필 정보에 적용 -

김용민* · 김형태**†

*서울대학교 공과대학 건설환경공학부, **한국토지공사 국토도시연구원

A Study on Red Tide Detection Algorithm Based on Two Stage Filtering

- Application to MODIS Chlorophyll Information -

Yongmin Kim* and Hyungtae Kim**†

*Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University

**Korea Land Corporation, Land urban Research Institute

Abstract : We propose an algorithm to detect large *Cochlodinium polykrikoides* red tide event that was appeared in Korean coastal waters. This algorithm is based on two-stage filtering using MODIS chlorophyll information. Most of the red tide detection studies generally use assumption that sea water having high chlorophyll concentration is red tide events because of high correlation and red tide. However, these methods generate many commission errors such as turbid water by detecting inactive sea water of red tide. Therefore, we eliminated commission errors by applying two stage filtering and verified the algorithm's effectiveness by detecting large *Cochlodinium polykrikoides* red tide event that was appeared in Korean coastal waters.

Key Words : Red Tide Detection, Two Stage Filtering, *Cochlodinium polykrikoides*, MODIS chlorophyll information.

요약 : 본 연구는 MODIS에서 제공하는 클로로필 정보를 기반으로 하여 2단계 필터링을 통해 우리나라 동해, 남해 연안에 대규모로 발생했던 *Cochlodinium polykrikoides* 적조를 탐지하는 알고리즘을 제시한다. 일반적으로 적조 탐지 연구들은 클로로필과 적조 발생의 상관성을 이용하여 클로로필의 농도가 높은 해역을 적조 발생 해역으로 탐지한다. 하지만 이 방법의 문제점은 적조가 발생하지 않은 해역을 적조 발생 해역으로 탐지함으로써 포함오차(Commission error)를 발생시킨다는 것이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 MODIS에서 제공하는 클로로필 정보를 바탕으로 적조 발생 해역을 추출하고, 2단계 필터링 과정을 적용함으로써 진해, 여수, 남해도 부근 해역에서 발생한 포함오차를 제거하였으며, 그 결과를 국립수산과학원의 적조속보자료와 함께 시각적·정량적으로 평가하여 본 연구에서 제안한 알고리즘의 효용성을 검증하였다.

1. 서론

적조는 지진, 산사태, 쓰나미와 같은 인간생활에 심각한 영향을 미치는 자연 재앙이 되었고, 해양 생태계에도 심각한 영향을 미치고 있다. 이상기후 중 하나인 지구온난화는 해양환경에도 많은 영향을 미친다. 지구온난화로 인해 해수면 온도가 올라감에 따라 적조가 활성화되는 최적 조건이 좀 더 오래 지속되기 때문에 최근에 발생하는 적조는 농도가 높아지고 지속 기간이 길어지고 있다(Kitaura *et al.*, 2006). 따라서 적조로 인한 피해는 점점 더 증가할 것으로 예상된다.

적조(Red tide)란 바다에 사는 플랑크톤이 대량 번식하여 바닷물 색깔을 갈색이나 빨간색으로 변색시키며 생태계를 파괴시키는 현상을 말한다. 또한 바닷물 색깔을 변색시키지 않아도 다른 생물들에 물리적인 피해를 야기시키는 생물을 Harmful Algal Blooms (HAB)라고 새롭게 명하여 사용하는 추세이다(김학균, 2005). 우리나라는 1995년 적조로 인해 764억의 피해를 입었으며, 그동안 매년 그 피해액이 감소하는 듯 했으나 다시 2007년도에 100억이 넘는 피해를 입었다(해양수산부). 따라서 적조의 피해를 줄이기 위해 적조모니터링 시스템 구축의 필요성은 더욱 절실해지고 있다.

적조에 대한 연구 중 적조의 발생과 분포를 파악하는 적조탐지 분야는 뛰어난 시공간 분해능을 가진 위성영상을 이용하는 원격탐사 기법을 주로 이용하고 있다. 위성영상을 이용한 적조탐지 기법 중 가장 일반적으로 사용되는 기법이 클로로필 정보를 이용한 적조 탐지 기법이다. 이 기법은 적조와 클로로필의 상관성을 이용하여 클로로필의 농도가 높은 해역을 적조로 탐지한다. 이러한 상관성을 바탕으로 MODIS나 SeaWiFS 등의 위성센서에서 제공하는 클로로필 정보를 이용하여 적조를 탐지하는 연구들이 매우 활발하게 진행되었다(Ishizaka, 2003; Knee *et al.*, 2006; Kitaura *et al.*, 2006). 또한 발광 정보를 이용하여 새롭게 클로로필을 추정하거나 적조 탐지를 위한 새로운 추정식을 제안하여 적조를 탐지하는 연구도 활발히 수행되고 있다(Ahn and palansamy, 2007; Hu *et al.*, 2005; Gustavo de *et al.*, 2007). 하지만 클로로필이 높은 해역이 항상 적조가 발생하는 해역이 아니기 때문에 클로로필을 이용한 적조 탐지 기법은 일정 부분의 포함오차(Commission

error)가 발생한다는 문제점을 갖고 있다.

따라서 본 연구에서는 클로로필을 이용한 적조 탐지 기법에서 발생하는 포함오차를 제거하기 위하여 클로로필을 이용한 적조 탐지 기법과 김용민 등(2007)이 제안한 2단계 필터링 기법을 기반으로 탐지정확도를 높이는 알고리즘을 제안한다.

2. Methods

1) 연구 지역 및 실험 데이터

본 연구에서는 국립수산과학원에서 제공하는 적조속보 자료를 바탕으로 연구 지역과 실험 날짜를 선정하였다. 적조속보 자료는 우리나라 동해안, 남해안 연안의 적조 발생 해역에 대한 예찰 및 취득한 정보를 바탕으로 작성되며, 참조 자료로써 사용한다. 이 자료는 자료의 조사 일시, 적조 생물, 밀도, 수온, 적조발생해역도 등 적조 발생에 대한 필수 정보들을 제공하며, 국립수산과학원 홈페이지에서 적조발생시 매일 제공되고 있다. 본 연구에서 사용한 적조발생해역도는 적조 발생 해역을 적색으로 표시하고 있다.

실험에 사용될 자료는 적조속보자료를 바탕으로 MODIS level 2 browser로부터 2003년 9월 30일, 2003년 10월 2일 영상을 다운로드하였다. 영상 선택시 고려해야 할 사항은 넓은 관측폭을 갖는 MODIS 센서의 특성상 왜곡을 최소화하기 위해 우리나라 해역이 영상의 중앙에 위치해야 하며, 적조 발생 해역에 구름이 없어야만 한다. 본 연구에서 사용하는 데이터는 MODIS level 2 자료이며, 그 중 OC3 클로로필 밴드, SST (Sea Surface Temperature) 밴드, 667nm Normalized Water-leaving Radiance 밴드를 사용한다. MODIS에서 제공하는 OC3 클로로필 정보는 경험적인 식에서 도출된 결과로 단위는 mg/m^3 이며, 도출식은 다음 식 (1)과 같다.

$$C_a = 10.0^{(0.2830 - 2.753R_{3M} + 1.457R_{3M}^2 + 0.659R_{3M}^3 - 1.403R_{3M}^4)} \quad (1)$$

where $R_{3M} = \log_{10}(R_{550}^{443} > R_{550}^{490})$

MODIS level 2 자료의 구성은 다음과 표 1과 같다.

Table 1. Specifications of MODIS level II data.

MODIS Level 2 Data	Normalized Water-leaving Radiance
	Pigment Concentration
	Chlorophyll Fluorescence
	Chlorophyll_a Pigment Concentration
	Photosynthetically Available Radiation
	Suspended-Solids Concentration
	Organic Matter Concentration
	Coccolith Concentration
	Ocean Water Attenuation Coefficient
	Ocean Primary Productivity
	Sea Surface Temperature
	Total Absorption Coefficient
	Ocean Aerosol Properties
	Clear Water Epsilon

2) 연구흐름도 및 연구 방법

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 MODIS 클로로필 정보로부터 추출한 잠재 적조화소를 바탕으로 김용민 등이 제안한 2단계 필터링을 동일한 방법으로 수행하여 적조를 탐지한다.

Fig. 1은 본 연구에서 제안하는 알고리즘의 과정을 나타내며, 제안 알고리즘은 총 세단계로 구분된다. 첫 번째 단계에서는 MODIS 클로로필 밴드로부터 적조화소를 추출한다. Garate-Lizarraga 등(2007)은 *Cochlodinium*

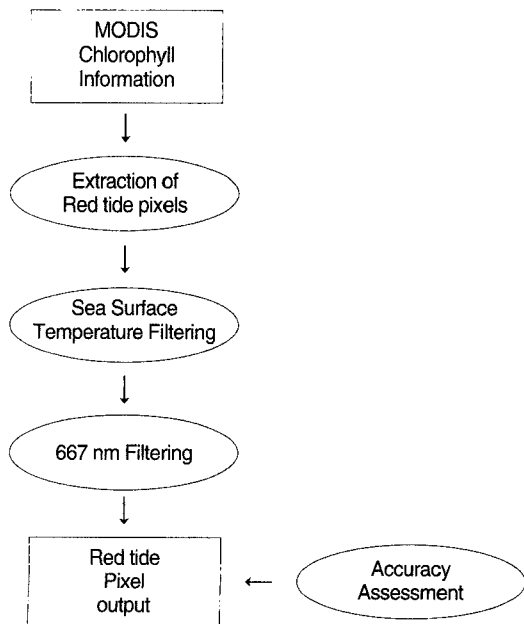


Fig. 1. Workflow with processing steps.

polykrikoides 적조 발생시 그 농도가 2.7-56.8 mg/m³ 라고 제시하고 있다. 하지만 이 범위를 적용할 경우 너무 많은 적조들이 탐지되어 우리나라의 해역의 대부분이 적조 발생 해역으로 추출되는 문제점이 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 MODIS OC3 클로로필 밴드에서 5-56.8 mg/m³, 10-56.8 mg/m³, 15-56.8 mg/m³ 로 그 범위를 변경하여 적용해 본 결과, 15-56.8 mg/m³ 범위를 적용하였을 때 가장 좋은 결과를 도출하였다. 두 번째, 세 번째 단계에서는 SST 필터링, 667nm 필터링이 이루어지게 된다. 이 과정은 김용민 등이 제시한 MODIS 적조지수 기반 2단계 필터링 과정과 동일하게 이루어진다. SST 필터링은 *C. polykrikoides* 적조가 22-25.5°C 에서 활성화된다는 점을 이용하여 적조의 비활성화 해역

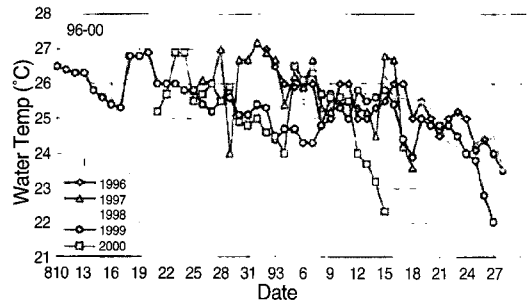


Fig. 2. Correlation between red tide and temperature (Kim, 2007).

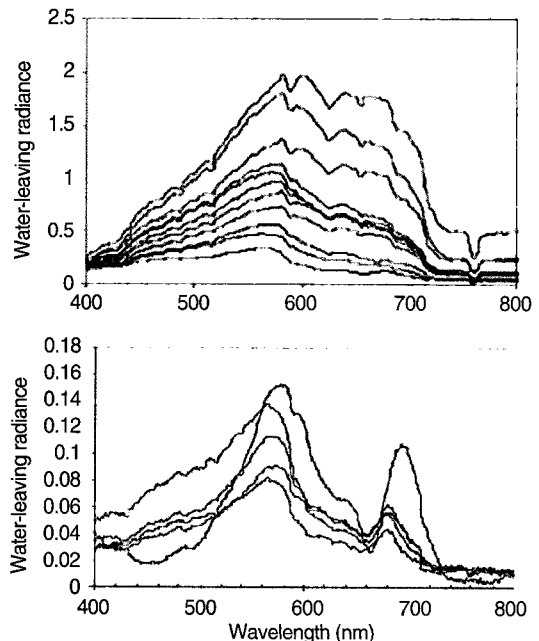


Fig. 3. Spectrum of turbid water (peaks) and red tide (troughs) (Ahn., 2006).

을 제거하는데 목적이 있다. Fig. 2는 적조 발생 및 소멸 기의 수온 특성에 대해 보여주고 있다.

Fig. 3은 *C. polykrikoides* 적조와 탁수의 분광스펙트럼이다. 667nm 필터링은 667nm 밴드에서 적조와 탁수의 분광스펙트럼 절대값 차이를 이용하여 탁수를 제거하는 역할을 한다. 이 필터링을 적용하여 탁수를 제거하게 된다.

이러한 세 단계를 거치게 되면 최종적으로 적조화소들이 추출된다. 최종 결과는 국립수산과학원에서 제공하는 적조발생해역도와 함께 시각적·정량적 평가가 이루어진다.

3) 연구 결과

(1) 시각적인 평가

Fig. 4는 MODIS 클로로필 정보를 이용하여 잠재 적조 화소를 추출하고, 2단계 필터링을 거친 최종 결과 영상과 참조자료인 적조속보해역도이다. (a)영상은 MODIS level 2 데이터의 클로로필 영상이며, 황색과 적색 화소군들은 적조 발생 확률이 높은 곳이라고 할 수 있다. (b)영상은 Garate-Lizarraga 등(2007)이 제시한 2.7-56.8 mg/m³ 클로로필 농도의 해역을 추출한 결과이다. 하지만 이 경우 우리나라 대부분의 해역이 적조

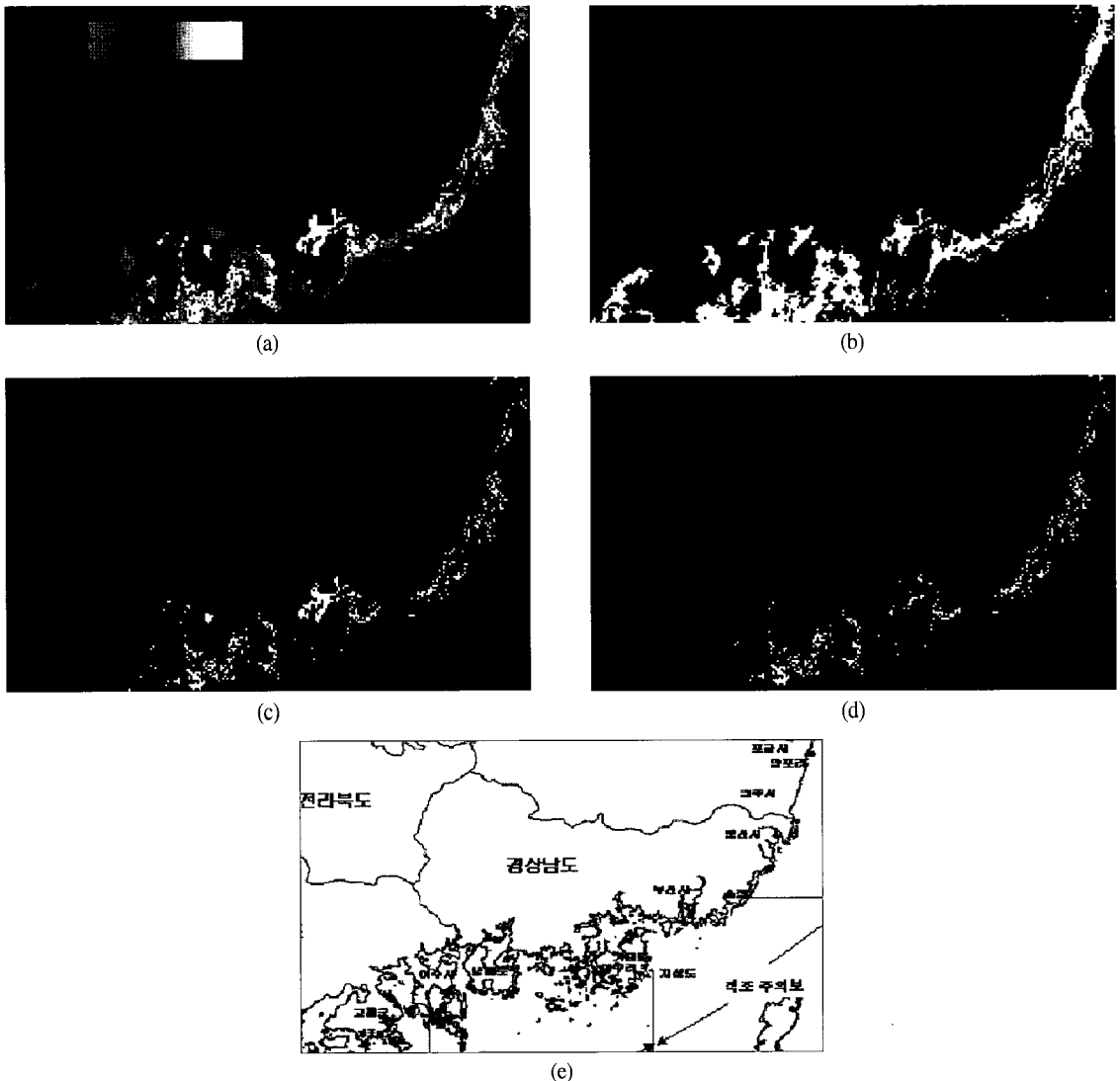


Fig. 4. Resultant images on August 30, 2003 as follows; (a) Image of MODIS Chlorophyll (b) Image of 2.7-56.8 mg/m³ chlorophyll concentration (c) Image of 15-56.8 mg/m³ chlorophyll concentration (d) Red tide outbreak sea area map.

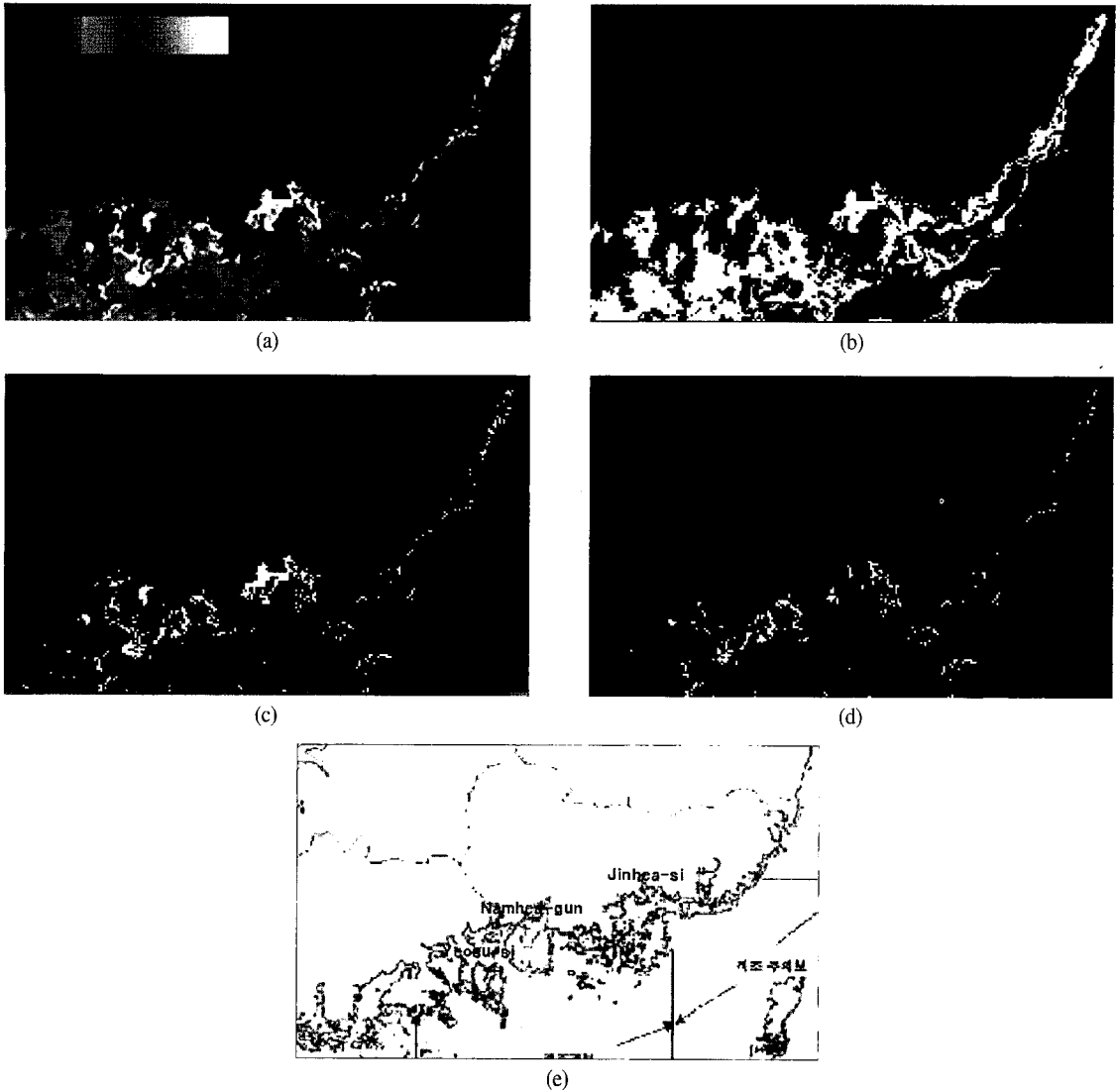


Fig. 5. Resultant images on October 2, 2003 as follows; (a) Image of MODIS Chlorophyll (b) Image of 2.7-56.8 mg/m³ chlorophyll concentration (c) Image of 15-56.8 mg/m³ chlorophyll concentration (d) Red tide outbreak sea area map.

발생 해역으로 추출되므로 실험에 사용할 수 없었다. 따라서 클로로필의 농도 범위를 15-56.8 mg/m³로 변경하여 적용함으로써 (c)와 같이 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 진해, 여수, 남해도 부근의 해역은 적조가 발생하지 않았음에도 불구하고 적조 발생 해역으로 추출됨으로써 포함오차를 발생시킨다. 따라서 2단계 필터링을 거쳐 이러한 포함오차를 제거한 결과가 (d)영상이다. 진해, 여수, 남해도 부근에서 발생했던 포함오차가 효과적으로 제거된 모습을 볼 수 있다. (e)영상은 참조 자료로써 국립수산과학원에서 제공하는 적조속보해

역도이다.

(2) 정량적인 평가

본 논문에서는 필터링 수행 전의 결과와 필터링 수행 후의 결과를 정량적으로 비교하였다. 정확도평가 측정치로써 F-measure, Jaccard (JC) and Yule (YC) coefficients를 도입하였다. 이 측정치들은 데이터마이닝(Data Mining), 컴퓨터비전(Computer Vision) 분야에서 주로 사용되는 지표로써 영상에서 변화의 양이 차지하는 부분이 매우 작을 때 효과적으로 적용할 수 있다.

F-measure는 데이터마이닝 분야에서 많이 사용되는 평가 도구로써 정확률(precision)과 재현율(recall)을 함께 고려하여 탐지성능을 측정하며 다음의 식으로 정의된다.

$$Precision(p) = a/(a + c) \quad (2)$$

$$Recall(r) = a/(a + b) \quad (3)$$

$$F - measure(F) = 2rp/(r + p) \quad (4)$$

정확률은 적조로 탐지된 화소들 중에 실제로 적조인 화소의 비율을 말하고, 재현율은 실제로 적조인 화소들 중에 적조로 탐지된 화소의 비율을 말한다.

JC (Jaccard coefficient), YC (Yule coefficient)는 다음의 식으로 정의된다.

$$JC = \frac{TP}{TP + FP + FN} \quad (5)$$

$$YC = \frac{TP}{TP + FP} + \frac{TN}{TN + FN} - 1 \quad (6)$$

Table 2와 Table 3은 위의 평가측정치를 바탕으로 2003년 9월 30일과 2003년 10월 2일의 필터링 적용 전, 후 결과들을 2×2오차행렬로 정리한 것이다. 두 표의 결과값을 보면 Recall 지수를 제외하고, 모든 평가측정치에서 필터링 후의 결과값이 높게 나온 것을 알 수

Table 4. 2×2 Error Matrix

		Detection result	
		red tide	clear water, turbid water
Reference data	red tide	True Positive (a)	False Negative (b)
	clear water, turbid water	False Positive (c)	True Negative (d)

있다. 이는 클로로필 정보를 이용한 적조탐지 기법에서 역시 SST 필터링과 667nm 필터링이 진행, 여수, 남해도 부근의 탁수, 즉 포함오차를 제거하는데 효과적이었음을 증명하였다고 할 수 있다. 하지만 Recall 지수는 필터링 후의 값이 필터링 전의 값보다 낮게 나온 것을 볼 수 있는데, 이는 Recall 지수의 특성상 많은 포함오차와 관계없이 True Positive의 값만을 고려하기 때문에 나온 결과라고 할 수 있다.

3. 결론 및 고찰

지구온난화가 지속될수록 적조의 농도는 높아지고 지속일수는 길어지고 있다. 따라서 적조에 의한 피해는

Table 2. A comparative result on August 30, 2003

Results Before Filtering		Detection result		Results After Filtering		Detection result	
		red tide	clear water, turbid water			red tide	clear water, turbid water
Reference data	red tide	37	174	Reference data	red tide	32	179
	clear water, turbid water	524	36765		clear water, turbid water	376	36913
Overall Accuracy = 98.14%				Overall accuracy = 98.5%			
Precision= 0.066 Recall =0.175 F-measure=0.096 JC=0.05 YC=0.06				Precision= 0.078 Recall =0.152 F-measure=0.103 JC=0.055 YC=0.074			

Table 3. A comparative result on October 2, 2003

Results Before Filtering		Detection result		Results After Filtering		Detection result	
		red tide	clear water, turbid water			red tide	clear water, turbid water
Reference data	red tide	32	133	Reference data	red tide	22	143
	clear water, turbid water	629	36706		clear water, turbid water	335	37000
Overall Accuracy = 97.96%				Overall accuracy = 98.7%			
Precision= 0.048 Recall =0.193 F-measure=0.077 JC=0.04 YC=0.044				Precision= 0.061 Recall =0.133 F-measure=0.084 JC=0.044 YC=0.057			

점차 커질 것으로 예상되며, 그 피해를 줄이기 위한 방안은 더욱 절실해지고 있다. 이번 연구는 적조 탐지 분야로써 클로로필 정보를 이용한 적조 탐지 기법의 문제점이었던 포함오차 발생 문제를 극복하기 위해 김용민 등이 제안한 2단계 필터링을 적용하는 알고리즘을 수행하였다. 그 결과 2단계 필터링을 통해 진해, 여수, 남해도 부근에서 발생했던 포함오차를 효과적으로 제거할 수 있었으며, 이를 정확도평가를 통해 시각적·정량적으로 확인할 수 있었다.

향후 광범위한 해역에 발생한 적조에 있어서 MRI (MODIS Red Tide Index)를 이용한 적조탐지 기법과의 연계를 통해 탐지 정확도를 높이는 연구와 중해상도 위성자료(Landsat ETM+)를 이용하여 적조의 속성정보를 취득하는 연구를 수행할 예정이다.

사 사

본 논문은 2008년 대한원격탐사학회 춘계학술대회에 “MODIS 클로로필 정보를 이용한 2단계 필터링 기반 적조탐지”란 제목으로 사전 연구가 발표되었습니다.

참고문헌

국립수산진흥원(<http://www.nfrdi.re.kr>)

김용민, 변영기, 허 용, 유기운, 2007. MODIS Level 2 Data를 이용한 *Cochlodinium Polykrikoides* 적조 탐지, *대한토목학회지*, 27(4-D): 535-540.

김진기, 2007. GIS를 이용한 적조발생지의 공간결정 연구, *한국지형공간정보학회지*, 15(22): 51-57.

김학균, 2005. 해양적조. 다솜출판사: 27.

해양수산부(<http://www.momaf.go.kr>)

Ahn, Y. H. and Palanisamy, S., 2006. Detecting the red tide algal blooms from satellite ocean color observations in optically complex Northeast-Asia Coastal waters, *Remote*

Sensing of Environment, 103: 419-437.

Ahn, Y. H. and Palanisamy, S., 2007. Derivation and analysis of the fluorescence algorithms to estimate phytoplankton pigment concentrations in optically complex coastal waters, *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* 9: 352-362.

Ishizaka, J., 2003. Present status of red tide detection in Japan by ocean color satellite. Workshop on Red Tide Monitoring in Asian Coastal Waters, March 10-12, 2003, Tokyo, Japan.

Kitaura, Y., Y. Touke, H. Sasaki, A. Tanaka, H. Murakami, T. Suzuki, K. Matsuoka, H. Nakata, and J. Ishizaka, 2006. Satellite Detection of Red Tide in Ariake Sound, 1998-2001, *Journal of Oceanography*, 62: 37-45.

Knee, T. C., J. Ishizaka, V. Ransi, T. P. H. Son, S. C. Tripathy, and E. Siswanto, 2006. Oceanographic events at northern borneo and their relationship to harmful algal blooms, Scientific paper presented at ISRS 2006 PORSEC, November 2006, Busan, Korea.

Hu, C., F. E. Muller-Karger, C. Taylor, K. L. Carder, C. Kelble, E. Johns, and C. A. Heil, 2005. Red tide detection and tracing using MODIS fluorescence data : A regional example in SW Florida Coastal Waters, *Remote Sensing of Environment*, 97: 311-321.

Garate-Lizarraga, I., D. J. Lopez-Cortes, and J. J. Bustillos-Guzman, *et al.*, 2004. Blooms of *Cochlodinium polykrikoides* (Gymnodiniaceae) in the Gulf of California, Mexico, *Rev. biol. trop.*, 52: 51-58.

Gustavo de, A. C., M. Peter, B. Warner, and B. Viva, 2007. Detection of Florida red tides from SeaWiFS and MODIS imagery, Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26, INPE: 4581-4588.