

## 한국 연안의 적조형성과 기상요인간의 상관성에 대한 통계학적 해석 및 위성에 의한 적조모니터링

윤홍주 · 이문옥\* · 류청로\*\*  
부경대학교 위성정보과학과  
\*여수대학교 해양공학과  
\*\*부경대학교 해양공학과

### Statistical analyses on the relationships between red tide formation and meteorological factors in the Korean Coastal Waters and Satellite monitoring for red tide

Hong-Joo Yoon, Moon-Ok Lee\*, Cheong-Ro Ryu\*\*  
Dep. of Satellite Information Sciences, Pukyong National University  
\*Dep. of Ocean Engineering, Yosu National University  
\*\*Dep. of Ocean Engineering, Pukyong National University

**KEY WORDS:** 적조, 기상요인, 다중회기식, 위성원격탐사

**ABSTRACT:** Red tide(harmful algae) in the Korean Coastal Waters has a given a great damage to the fishery every year. However, the aim of our study understands the influence of meteorological factors (air and water temperature, precipitation, sunshine, solar radiation, winds) relating to the mechanism of red tide occurrence and monitors red tide by satellite remote sensing, and analyzes the potential area for red tide occurrence by GIS. The meteorological factors have directly influenced on red tide formation. Thus, We want to predict and apply to red tide formation from statistical analyses on the relationships between red tide formation and meteorological factors. In future, it should be realized the near real time monitoring for red tide by the development of remote sensing technique and the construction of integrated model by the red tide information management system (the data base of red tide - meteorological informations).

#### I. 서론

우리나라 연안에서 발생하는 유해성 적조생물(harmful algae)인 코클로디니움(*Cochlodinium polykrikoids*)은 매년 수산업에 막대한 피해를 가져다 주고 있다.(Hahn, 1998; Kim, 1998; NFRDI, 1996) 따라서 본 연구는 이러한 적조생물의 발생기작에 대하여 기상인자(기온, 수온, 강수량, 일조시수, 일사량, 바람)는 어떠한 관계를 가지면서 영향을 미치는가를 알아보고, 위성원격탐사 기법을 통하여 적조를 감시(감지)하고 그리고 GIS 기술에 의한 적조 발생 지역의 공간을 분석하고자 한다. 기상인자는 적조형성에 직접적인 영향을 미치는데(Yanagi, 1992; Yamamoto, 1996; Yamamoto, 1997; Yoon, 2001), 상호 상관성에 대한 통계학적 특성을 파악하여 사전에 적조발생을 예측하는데 활용하고자 한다. 또한 향후 위성원격탐사 기법의 개발로 실시간 적조를 감시하고 GIS 기술에 의한 적조정보와 기상정보를 D/B화

하여 적조정보관리시스템으로 통합 모델을 구축하기 위하여 현재 초기 단계의 연구가 진행 중에 있다(Yoon, 2002; Yoon 2003).

#### II. 자료 및 조사대상 해역

본 연구에서 통계적 해석에 사용한 자료는 기상청의 기상자료(기상관측자료, 기상월보 및 년보)와 수산과학원의 해양자료를(연안관측자료, 적조발생상황표) 사용했으며 조사대상 해역은 남해 서부해역(SW, 완도), 남해 중부해역(SM, 여수), 남해 동부해역(SE, 통영) 그리고 동해 남부해역(ES, 포항)으로 각각 구분하였다. 위성원격탐사와 관련하여 위성자료는 NOAA의 SST와 SeaWiFS의 클로로필농도를 각각 사용하였다. GIS 공간분석에 대해서는 각 시기별 적조발생지역의 공간분포를 속성정보와 그래픽으로 연계하여 적조정보관리시스템을 구축하고 ArcView tool를 통하여 적조정보를 생산하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 적조형성과 기상인자와의 통계적 해석

조사기간에 대한 코클로디니움의 연간 적조 발생 총 건수를 보면 (Fig. 1a), 1990년대 초반을 기점으로 증가 추세를 나타낸다. 이 것은 연안역의 부영양화가 원인이 된다. 또한 1995년 이후부터는 한국연안 전 지역에서 발생하였다. Fig. 1b는 월별 적조발생 건수인데, 7, 8, 9, 10월에 걸쳐서 발생한다. 즉, 수온이 상승하고 강우량이 많은 하계인 8, 9월에 주로 집중하여 발생한다.

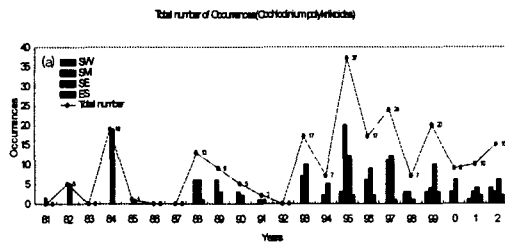


Fig. 1a. Annual variations of red tide occurrence.

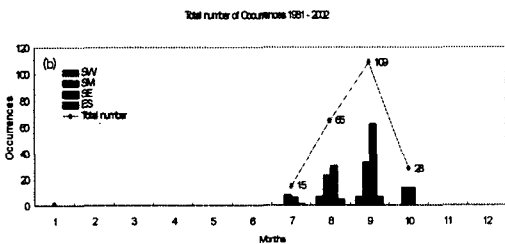


Fig. 1b. Monthly variations of red tide occurrence.

적조발생과 기상인자간의 관계와 관련하여 (Table 1), 상관계수 R가 0.856로 높은 값을 보인다. 강수량과 일조시수는 수온과 바람에 비해서 '4'의 낮은 기울기 값을 보이는데, 이는 적조발생에 어느 정도 기여한다는 것을 의미한다. '4'의 높은 기울기를 가지는 풍속은 적조발생에 높은 기여를 하는 것으로 생각되나 유의값이 95%이하로 떨어지므로 신뢰할 수는 없다. 끝으로 높은 기여도를 보이는 수온은 '1' 상관성을 보이는데, 이 것은 수온이 어느 정도 높은 온도에 도달하면 적조생물의 발생을 억제하는 제한 인자로 작용하기 때문인 것으로 보여 진다.

Table 1. Results of multiple regression analyses for testing the contribution of four meteorological factors on the red tide formation of *Cochlodinium polykrikoids*

during 1990-2002 in the Korean Coastal Waters, (a) for over 13 years, (b) for each August and (c) for September, respectively.

Periods	Water Temp.	Rainfall	Sunshine duration	Wind Velocity	Constant	R	n	F value
(a) 13 years	-0.370 (-2.291)	0.002 (2.115)	0.019 (8.715)	0.302 (1.260)	8.277 (0.045)	0.856	38	22.632
(b) August	-0.319	0.019	0.141	0.119	8.089	0.897	14	9.263
(c) September	-0.327	0.027	0.208	0.208	7.531	0.894	18	12.998

R : Multiple correlation coefficient, value in parentheses shows t value. Significant at 1% level.

일반적으로 적조생물은 15℃이상에서 증식이 활발하게 일어난다. 수온 15℃에서 적조발생일까지의 누적일사량, 누적수온, 누적강수량간의 관계를 보면 (Fig. 2), 적조발생에 걸리는 시간은 95~104일 정도 걸리며 남해동부와 남해중부 (누적일조시수: 4600~4700h, 누적수온: 1500~1750℃, 누적강수량: 6000~6700mm), 남해서부 (누적일조시수: 5500h, 누적수온: 1900℃, 누적강수량: 11200mm) 그리고 동해남부 (누적일조시수: 4600~4700h, 누적수온: 1560℃, 누적강수량: 6000mm)로 각각 구분되어 기상인자와 관련해서 해역별로 다소간의 차이를 나타내는 것을 알 수 있다. 적조밀도 및 수온의 빈도수를 보면, 동해남부 해역을 제외한 전 해역에서 대체로 수온 24.5~25℃와 적조밀도 1000mg/l 이상에서 높은 빈도값을 모두 보이는데 주로 적조주의보의 범주에 포함된다.

Fig. 3은 적조밀도와 수온과의 관계를 나타내는데, 동해남부해역을 제외하고는 대체로 양호한 상관관계를 보였다. 남해중부해역은 상관관계가 가장 높았는데, 선형회귀식으로 나타내면 다음과 같다.

남해중부해역의 적조밀도

$$: IN = 958.39WT - 20484 \quad (R = 0.828)$$

여기서 IN (individual number, cells/ml)은 적조 밀도, WT (water temperature, ℃)는 수온을 각각 나타낸다.

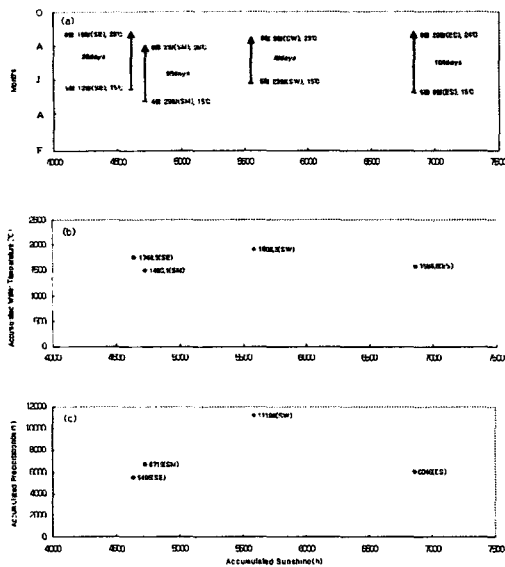


Fig. 2. Accumulated sunshine duration from the day when water temperature is 15°C till the day of red tide occurrence versus (a) total days, (b) accumulated water temperature and (c) accumulated precipitin.

Fig. 4는 4개 해역에 대한 적조발생 시의 수온과 적조밀도의 빈도수를 나타낸다. 수온의 경우는 동해 남부해역을 제외한 나머지 전 해역에서 대체로 수온 24.5~25°C에서 적조발생이 높다. 우리나라 연안해역에서의 적조는 수온 22~25°C 범위에서 발생을 하고 발생 시 주로 적조경보의 범주에 포함된다는 것을 알 수 있다.

## 2. 위성원격탐사 기술에 의한 적조 감시

NOAA 위성의 열적외선 자료를 이용한 한국 연근해 적조발생 해역 해황특성과 적조분포 상호간의 관계성을 보면 (1995-2002), 냉수대의 발달 유무에 따라서 적조의 분포와 이동이 달라진다는 것을 잘 알 수 있다. 우리나라 동해남부 해역의 울산-포항 앞바다에서 형성되는 강한 냉수대의 형성은 남해안에서 형성된 적조를머무르게 하다가 (Fig. 5a), 이어서 냉수대의 세력이 약화되어 소멸됨에 따라 적조가 동해 남부해안을 따라서 북상 이동한다(Fig. 5b).

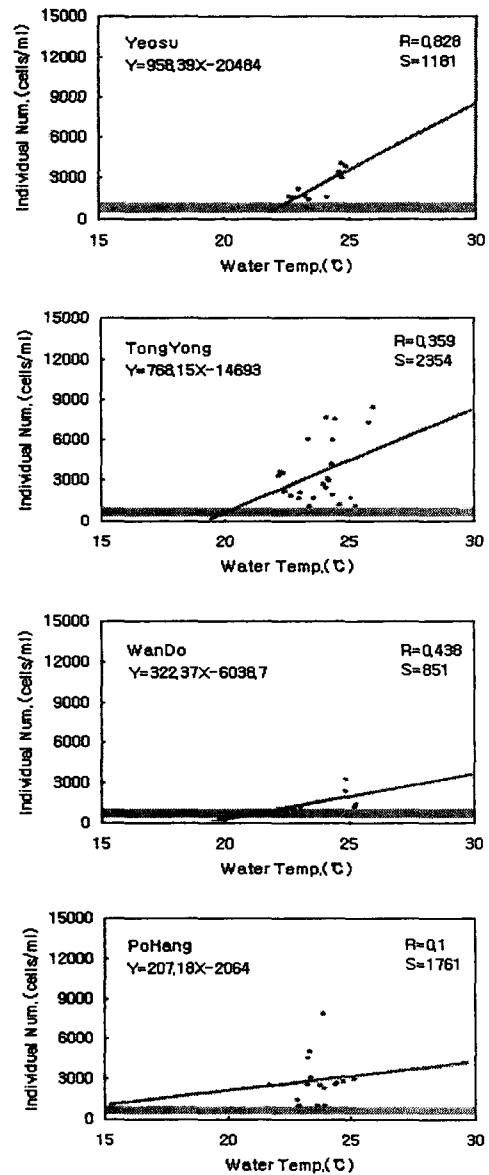


Fig. 3. Relationships between density and water temperature.

Fig. 6은 북상난류의 흐름분포에 따른 적조의 이동하면서 발생하는 특성을 전형적으로 특성을 잘 보여준다.

SeaWiFS 위성자료 분석으로 식물성플랑크톤의 농도 변화를 이용한 적조분포 해역 감지 기법과 관련하여, 적조발생에 대한 적조 농도 값의 전후차를 보면 2001년 현장 적조분포도 (Fig. 7a, 유해적조발생 해역도)와 위성추적 적조분포도 (Fig. 7b, 클로로필 a의 농도차 값) 간에 적조발생 해역이 대단히 잘 일치했다.

향후 하계 한국 연근해의 적조 주요종인 코클로

다니움이 발생해역에 대한 해수색 및 적외선 위성원격탐사 기법의 개발로 적조를 직·간접 감지하고, 실시간 해황분석으로 적조 이동해역 조기 예측기술을 개발할 예정이다.

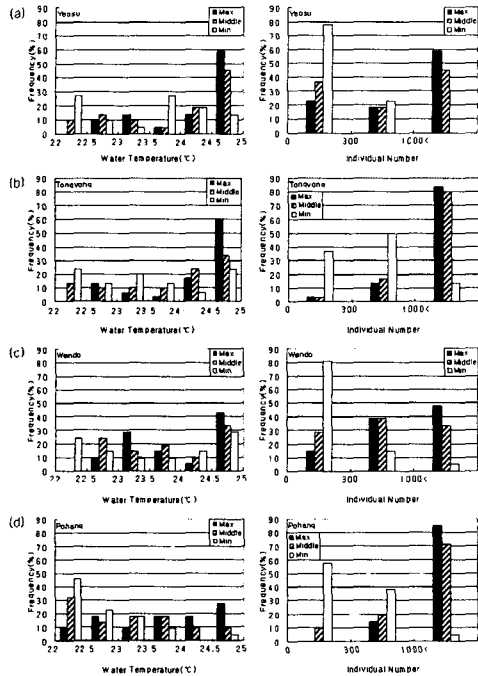


Fig. 4. Frequency (%) of water temperature and density for red tide occurrence.

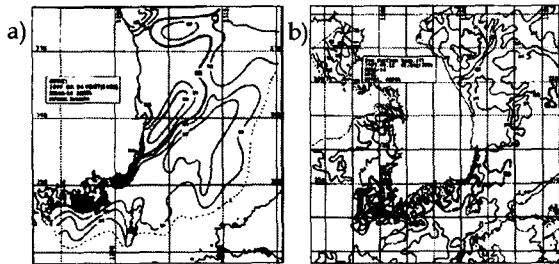
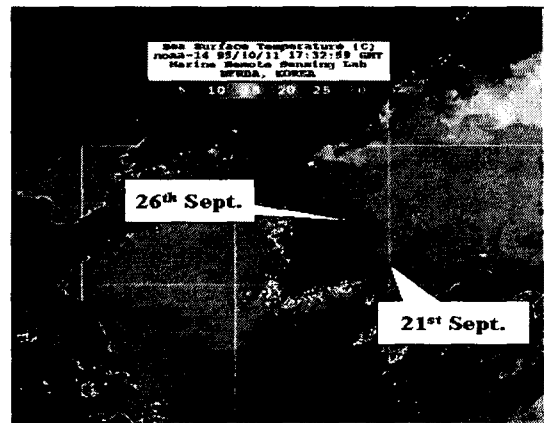


Fig. 5. a) development and stay of cold waters and b) disappearance of cold waters and movement of red tide.



• : Areas of red tide occurrence

Fig. 6. Northward warm current and movement of red tide

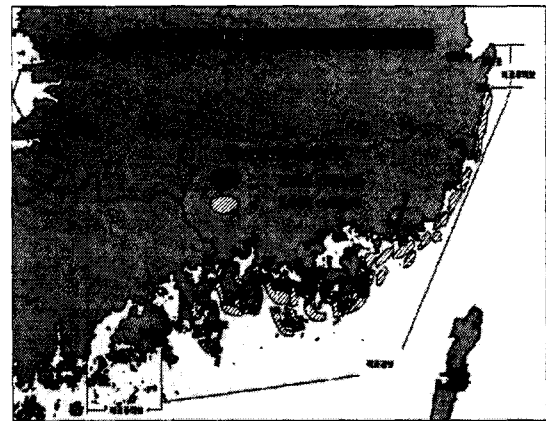
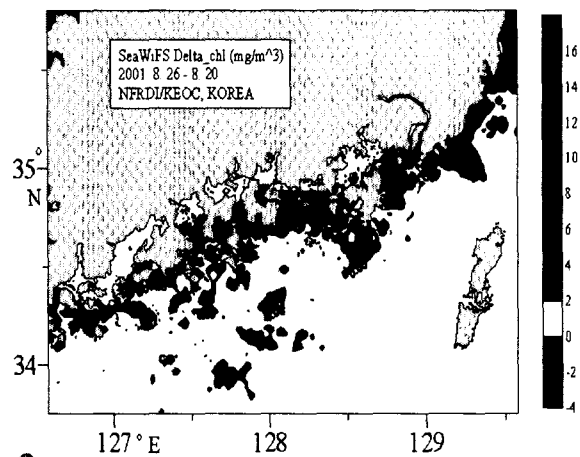


Fig. 7a. Distributions of red tide by *in-situ* data in



2001

Fig. 7b. Distribution of red tide by satellite data in 2001.

### 3. GIS 기술에 의한 적조정보의 공간분석

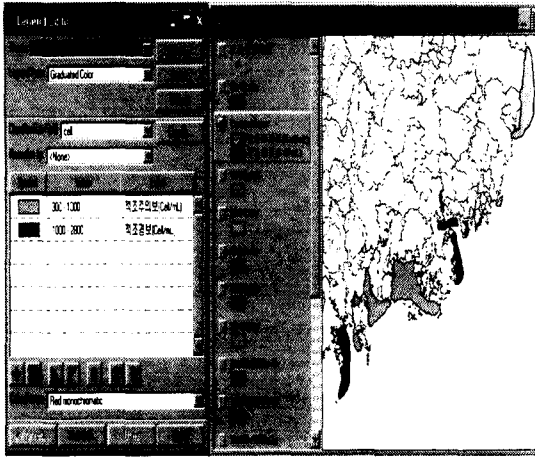


Fig. 8a. Red tide information management system attention and warning for red tide.

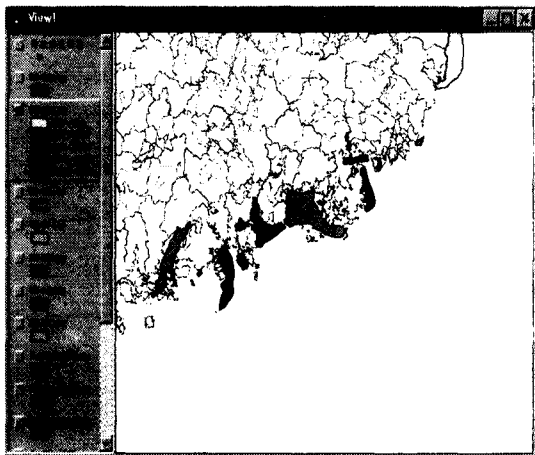


Fig. 8b. Red tide information system (distribution of red tide concentration).

GIS 기술에 의한 적조 주의보와 적조 경보지역의 구분화를 1995년부터 2000년까지 D/B화 하였다. 각 시기별 적조발생지역의 공간분포를 속성정보와 그래픽정보를 연계하여 적조정보관리시스템 (Fig. 8 a and b)을 구축하였다. 이 시스템은 적조의 발생시기, 발생범위, 발생한 적조의 생물 종 구분 및 밀도 등을 현장조사 자료로부터 획득하여 적조정보로 제공한다. 또한 인공위성에 의한 적조발생지역의 조사를 통해 적조발생의 공간범위를 시기별로 벡터 자료화 하였다.

향후 연도별 적조 발생지역의 공간분석 (적조정보관리시스템)을 통해 기상인자와 적조 발생범위의 공간분석을 수행할 것이다. 각 시기별 발생 적조의 생물종과 기상인자의 속성정보를 D/B로 구축하

고 적조정보관리시스템으로 통합 모델을 구축할 예정이다.

## IV. 결론

한국 연안 전 해역에 걸쳐서 매년 적조생물이 발생 한다 (1995년부터). 남해 중부 및 동부해역은 상습발생 지역이다 (7, 8월). 따라서 육상오염으로 인한 해양오염의 방지가 중요하다. 기상인자 (기온, 수온, 강수량, 일사량, 일조시수, 바람)는 적조형성에 기여하며, 특히 수온 (기온)은 적조발생의 제한 인자로 작용한다. 수온 15℃가 되는 일을 기점으로 적조발생에 소요되는 시간은 78~104일 정도 걸리며, 누적일조시수, 누적수온, 누적강수량의 비교로부터 적조발생 해역을 구분할 수 있다. 즉, 남해중부 및 남해동부 해역은 고밀도 적조발생 해역이며 남해서부 해역, 동해남부 해역은 저밀도 적조발생 해역이다. 복잡 다양한 기후에 따른 해양환경의 변화로 적조의 발생의 해역과 형태도 복잡 다양하게 되었다. 동해남부 해역을 제외한 나머지 해역은 수온 24.5~25℃의 범위에서 1000mg/l 이상의 밀도를 보이는데, 적조생물이 발생하면 대체로 수산피해를 가져다주는 적조경보의 범주에 든다. 위성원격탐사 기술로부터 우리나라 연근해 적조발생 해역 해황특성과 적조분포 상호간의 관계성으로부터 적조의 머무름과 이동은 냉수대의 발달 및 소멸 그리고 북상난류의 흐름과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 또한 식물성플랑크톤의 농도의 변화를 이용하여 적조분포해역의 감지가 위성원격탐사 기술로 가능하였다. GIS 기술을 통한 적조정보관리시스템의 구축으로 적조정보를 통한 공간분석이 가능하게 되었다. 향후 적조유발 기상요소 및 RS/GIS와 연계한 적조정보통합관리 시스템을 구축할 예정이다.

## 사사

본 연구는 기상청에서 시행하는 기상지진기술개발 사업의 하나인 '국지기상 예측 기술개발/연안기상 및 기후자료 이용기술 개발' 과제와 한국과학재단 특정기초연구 (R01-2002-000-00369-0)의 일부 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

Hahn, S. D., 1998. History of algal records in Korean coastal waters, In Harmful algal blooms in Korea and China(ed. Kim, H. G., S. G. Lee and C. K. Lee), NFRDI, Korea, 34-43.

- Kim, H. G., 1998. Harmful algal blooms in Korean coastal waters focused on three fish-killing dinoflagellates(ed. Kim, H. G., S. G. Lee and C. K. Lee), NFRDI, Korea, 1-20.
- NFRDI(National Fisheries Research and Development Institute), 1996. Marine pollutions and red tide, 191p.
- Yanagi, T., Asai Y. and Koizumi Y., 1992. Physical conditions for red tide outbreak of *Gymnodinium mikimotoi*, Fisheries and Marine Research, 56(2), 107-112.
- Yamamoto, T. and Okai M., 1996. Statistical analyses on the relationships between red tide formation and meteorological factors in Mikawa bay, Japan, Fisheries and Marine Research, 60(4), 348-355.
- Yamamoto, T., Okai M., Takeshita K. and Hashimoto T., 1997. Characteristics of meteorological conditions in the years of intensive red tide occurrence in Mikawa bay, Japan. Fisheries and Marine Research, 61(2), 114-122.
- Yoon, Y. H., 2001. A summary on the red tide mechanisms of the harmful dinoflagellate, *Cochlodinium polykrikoides* in Korean coastal waters, Bull. Plankton Soc. Japan, 48(2), 113-120.
- Yoon, H. J., Y. S., Kim, Y. H., Yoon and Kim, S. W., 2002. Study on satellite monitoring and prediction for the occurrence of red tide in the middle coastal area in the South Sea of Korea-I. The relationship between the occurrence of red tide and the meteorological factors, Korean Ins. of Marine Information and Communication Sciences, 6(6), 843-848.
- Yoon, H. J., S. C. Kim, and Park, I. H., 2003. Characteristics of meteorological and marine environments for the red tide occurrence of Mid-South Sea in Korea, Korean Ins. of Marine Information and Communication Sciences, 7(4), 845-852.