

# 적조기상정보 :

## 기상인자를 활용한 연안 적조예측기술 개발

윤홍주

### Meteorological Information for Red Tide : Technical Development of Red Tide Prediction in the Korean Coastal Areas by Meteorological Factors

Hong-Joo Yoon  
Dep. of Satellite Information Sciences, Pukyong National University  
yoonhj@pknu.ac.kr

#### 요 약

본 연구는 연안기상 정보를 효율적으로 이용하여 사전에 적조를 예찰하고 실용화하여 적조로부터의 재해를 저감하는데 있다. 이러한 적조예찰을 위해서는 기본적으로 우리나라 주변 해역의 적조발생에 관여하는 기상 및 해양인자들의 환경학적 특성을 파악하고 이들의 상관성으로부터 적조발생 가능성을 예측하는 정보를 제공하는 것이 매우 중요하다. 또한 이러한 정보를 공공의 활용에 쉽게 이용될 수 있게끔 정보시스템을 구축하는 것이 필요하다. 앞으로 본 연구의 결과는 이 분야에 관련되는 학계, 공공기관, 업계의 종사자들에게 유용한 정보로 활용될 것으로 기대되며 그리고 매년 연례행사처럼 국가적으로 문제시 되고 있는 우리나라 주변해역의 적조피해를 줄이는데 실질적으로 기여할 것이다.

#### 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). Finally our purpose is support to the prediction information for the possible red tide occurrence by coastal meteorological information and contribute to reduce the red tide disaster by the prediction technique for red tide.

#### 키워드

Red tide, Meteorological and marine factors, Statistical relationship, Remote sensing & GIS technique, Real time red tide prediction

#### I. 서론

우리나라 연안에서 발생하는 유해성 적조생물(harmful algae)인 코클로디니움(*Cochlodinium polykrikoids*)은 매년 수산업에 막대한 피해를 가져다주고 있다[1-3]. 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

발생지역의 공간을 분석하고자 한다. 또한 향후 위성 원격탐사 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[8-9].

본 연구는 첫째로는 기상 및 해양학적인 인자들과 관련하여 적조가 형성되는 메커니즘과 적절한 기상 및 해양학적 조건을 구체적으로 이해하는 것이고, 둘째는 원격탐사에 의한 연속모니터링을 통하여 적조의 발생 및 이동 경로를 파악 및 예측하고 그리고 셋째는 연안기상정보를 활용한 한반도 연안

의 주간별 적조발생가능성의 예측정보를 제공함으로써 적조를 조기에 탐지 하여 그 피해를 최소화하는데 근본적인 목적을 두고 있다.

## II. 자료 및 조사대상 해역

본 연구에서 통계적 해석에 사용한 자료는 기상청의 기상자료 (기상관측자료, 기상월보 및 연보)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. 이것은 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.

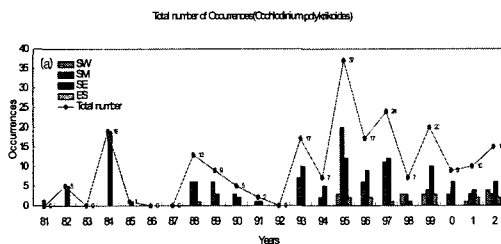


Fig. 1a. Annual variations of red tide occurrence.

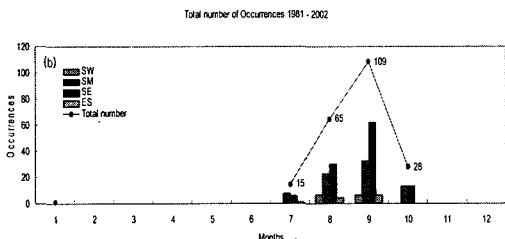


Fig. 1b. Monthly variations of red tide occurrence.

적조발생과 기상인자간의 관계와 관련하여, 상관계수 R가 0.856로 높은 값을 보인다. 강수량과 일조시수는 수온과 바람에 비해서 '4'의 낮은 기율기 값을 보이는데, 이는 적조발생에 어느 정도 기여한다는 것을 의미한다. '4'의 높은 기율기를 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.

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

### 2. 위성원격탐사 기술에 의한 적조 감지

NOAA 위성의 열적외선 자료를 이용한 한국 연근해 적조발생 해역 현황특성과 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 적조를 머무르게 하다가, 이어서 냉수대의 세력이 약화되어 소멸됨에 따라 적조가 동해남부해안을 따라서 북상 이동한다.

Fig. 2은 북상난류의 흐름분포에 따른 적조의 이동하면서 발생하는 특성을 전형적으로 특성을 잘 보여 준다. SeaWiFS 위성자료 분석으로 식물성플랑크톤의 농도 변화를 이용한 적조분포 해역 감지 기법과 관련하여, 적조발생에 대한 적조 농도 값의 전후차를 보면 2001년 현장 적조분포도 (Fig. 3a, 유해적조발생 해역도)와 위성추적 적조분포도 (Fig. 3b, 클로로필 a의 농도차 값) 간에 적조발생 해역이 대단히 잘 일치했다. 향후 하계 한국 연근해의 적조 주요종인 코클로디니움 발생해역에 대한 해수색 및 적외선 위성원격탐사 기법의 개발로 적조를 직·간접 감지하고, 실시간 해황분석으로 적조 이동해역 조기 예측기술을 개발할

예정이다.



• : Areas of red tide occurrence  
 Fig. 2. Northward warm current and movement of red tide.

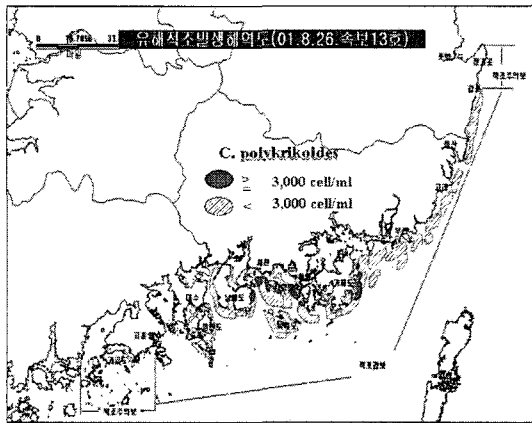


Fig. 3a. Distributions of red tide by in-situ data in 2001.

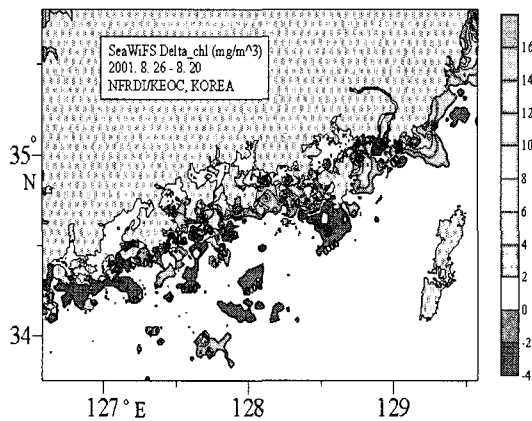


Fig. 3b. Distribution of red tide by satellite data in 2001.

### 3. GIS 기술에 의한 적조정보의 공간분석

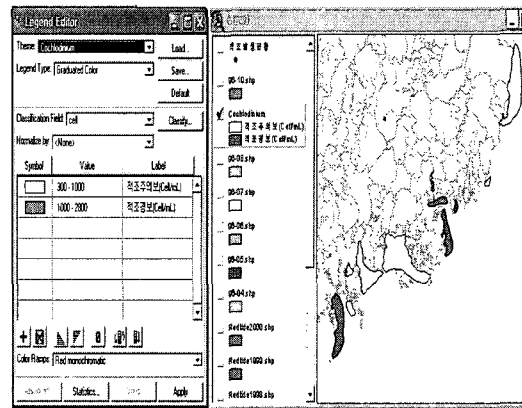


Fig. 4. Red tide information management system attention and warning for red tide.

GIS 기술에 의한 적조 주의보와 적조 경보지역의 구분화를 1995년부터 2000년까지 D/B화 하였다. 각 시기별 적조발생지역의 공간분포를 속성정보와 그래픽정보 연계하여 적조정보관리시스템 (Fig. 4)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 발생범위와의 공간분석을 수행할 것이다. 각 시기별 발생 적조의 생물종과 기상인자의 속성정보를 D/B로 구축하고 적조정보관리시스템으로 통합 모델을 구축할 예정이다.

### 4. 연안기상 정보를 활용한 우리나라 연안의 주간별 적조발생 가능성 예보

#### 1) 해석적 방법

본 연구에서는 연안기상정보를 이용해서 우리나라의 남해안을 중심으로 한 코클로디니움에 대한 적조예보시스템을 개발했다. 이 경우에 적조발생과 관련된 조건이 매우 복잡한 관계로 적조발생에 대한 단기예보가 아직도 충분히 성공적이라고는 말할 수 없다. 그럼에도 불구하고, 코클로디니움 적조의 몇 가지 관심 있는 현상을 나타내는 특이한 기능을 이용하여 적조발생하기 몇 일전에 적조발생을 예보하는 것이 시도되었다. 코클로디니움 적조발생에 우호적인 기상 및 해양학적 조건의 해석으로부터 유추해낼 수 있는데, 즉 여름에 많은 강우량, 높은 온도(수온 및 기온), 적절한 일조시수 및 바람 그리고 조류 등을 이용한다.

#### 2) 기상관측장비를 이용한 실시간 기상 및 해양 인자 획득과 현지조사

본 연구에서는 적조발생 가능성을 예측하기 위하여 상대적으로 저가이면서 적조발생에 영향을 미치는 주요한 기상 및 해양인자를 현장에서 실시간으로 획득할 수 있는 기상관측장비를 2004년 6월 29일에 고흥 앞바다에 설치하였다.

2004년 8월 27일 적조발생일 당일 현지에서 확인한 결과 적조발생의 호조조건은 다음과 같았다: 1) 장마 후 날이 더우면 적조가 온다(발생한다). 2) 바람도 좋으면 (적조발생에) 좋다. 즉, 남풍 혹은 남서풍 계열의 바람. 3) 산지매가 들어오면 좋다(물이 찬다), 즉, 늘물(밀물)에 적조가 일어나고 반대로 썰물에 죽는다. 4) 고기는 마취형태로 죽는다(문어, 조개도 죽는다). 5) 파고는 먼 바다에서 3~4m 정도 일 때 이다. 현장조사 당시에 연안에서 발생한 코클로디니움 적조는 육지 쪽 해안과 근접하여 경계를 이루면서 연안에서 붉은 갈색의 적조가 형성된 것을 볼 수 있었다.

### 3) 기상 및 해양학적 조건의 해석으로부터 유추해낸 주간별 적조예보

우리나라 연안의 적조발생과 관련하여 우리들의 연구결과들을 종합해 볼 때, 적조발생에 호조조건으로 작용하는 것은 제1차적으로 수온(해양인자)이며, 제2차적으로는 강수량(기상인자)이며, 제3차적으로는 일조시수(기상인자) 그리고 마지막으로 풍향(기상인자)이다. 수온은 15~35°C의 범위 내에서 적조생물의 성장에 제한인자로 작용하며 2번째로 강수량은 적조가 성장하고 무리를 지어 군집을 이루는데 영양염류를 공급하는 중요한 인자로 작용한다. 끝으로 일조시수와 바람은 수온이나 강수량과는 달리 적조발생에 결정적인 제한인자로 작용하지는 않지만 형성된 적조를 우호적으로 성장시키고 군집을 이루는데 도움을 준다. 이때 사용한 기상인자는 기상청 AWS 자료를 그리고 해양인자는 수산과학원 연안정지자료를 각각 사용했으며, 조사기간은 1995~2002의 8년간 적조가 발생하는 시기인 7, 8, 9, 10월 해당하는 자료들 만 사용하였다.

이상과 같은 조건들로부터 우리는 기상 및 해양학적 조건의 해석으로부터의 주간별 적조예보를 할 수 있다. 따라서 실시간으로 제공되는 연안기상정보를 이용해서 적조예보를 할 수 있게끔 프로그램을 작성하였다.

## IV. 결론

한국 연안 전 해역에 걸쳐서 매년 적조생물이 발생한다 (1995년부터). 남해 중부 및 동부해역은 상습발생 지역이다 (7, 8월). 따라서 육상오염으로 인한 해양오염의 방지가 중요하다. 기상인자 (기온, 수온, 강수

량, 일사량, 일조시수, 바람)는 적조형성에 기여하며, 특히 수온 (기온)은 적조발생의 제한 인자로 작용한다. 수온 15°C가 되는 일을 기점으로 적조발생에 소요되는 시간은 78~104일 정도 걸리며, 누적일조시수, 누적수온, 누적강우량의 비교로부터 적조발생 해역을 구분할 수 있다.

결론적으로 적조발생예보를 위해서는 앞서 말한 여러 가지 인자들의 결합이 더욱 필요로 한다. 적조예보에 대한 여러 지수들을 가지고 적조발생의 확률지수를 평가하고 이러한 지수들과 적조발생간의 원인과 결과는 적조예보에 사용된 실제적인 방법을 적절하게 조절함으로써 상세하게 정의할 수 있다. 따라서 본 연구에서 수행한 기상 및 해양인자를 이용한 적조예보는 미래의 더욱 발전되고 정확한 적조발생 가능성 예측정보 제공하는데 기본적인 배경이 될 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2002-000-00369-0)의 일부 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute), 1996. Marine pollutions and red tide, 191p.
- [4] 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.
- [5] 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.