
원격탐사를 이용한 한국 남해 중부해역에서의 적조 예찰 연구

II. 적조발생과 해양인자간의 상관성 연구

윤홍주* · 남광우** · 조한근* · 변혜경*

Study on monitoring and prediction for the red tide occurrence in the middle coastal area in the South Sea of Korea

II. The relationship between the red tide occurrence and the oceanographic factors

Hong-Joo Yoon* · Kwang-Woo Nam** · Han-Keun Cho* · Hye-Kyong Byon*

본 연구는 기상청 기상지진기술개발사업 「국지기상 예측기술개발/연안기상 및 기후자료 이용기술 개발」 및 한국과학재단 특정기초연구(R01-2002-000-00369-0)의 지원으로 수행 되었습니다.

요 약

남해 중부해역에서 적조발생과 관련해서 적조 다발월인 여름과 초가을에 기온과 마찬가지로 높은 수온을 유지한다. 또한 많은 강수량에 의하여 부유물질 및 영양염류가 증가하고 염분이 대체로 떨어지는 것을 알 수 있었다. 이때 적조의 bloom으로 인하여 대표적인 영양염류인 질소와 인의 값이 떨어진다. 그리고 적조생물의 사후 미생물 분해 작용이 활발하여 산소의 소모가 증가하여 용존산소가 급격히 떨어지고 화학적산소요구량이 높게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이때 식물성플랑크톤의 성장 제한인자로 작용하는 부유물질, 인산염, 질산염의 공간분포도를 이용해서 적조발생의 잠재력을 지닌 최적지를 결정하였는데, 최적지로서는 여수~돌산해역, 가막만 북부지역, 남해 일부해역, 나로도해역, 고흥 남부의 일부 연안, 득량만과 인접한 고흥 서부 해역이었다.

ABSTRACT

On the relationship between the red tide occurrence and the oceanographic factors in the middle coastal area in the South Sea of Korea, the favorable oceanographic conditions for the red tide formation are considered as follows; the calm weather increases sea water temperature in summer and early-fall which the red tide occurs frequently, and the heavy precipitation brings some riverine water to ocean: low salinity, high suspended solid, low phosphorus and high nitrogen, respectively. We decided the potential areas in the coastal zones vulnerable to the red tide occurrence based on the limited factors controlling the growth of phytoplankton. By using GIS through the overlap for three subject figures (phosphorus, nitrogen and suspended solids), it was founded that the potential areas are the Yeosu~Dolsan coast, the Gamak bay, the Namhae coast, the Narodo coast, the Goheung and Deukryang bay. This result has very well coincided to the results of the satellite and in-situ data.

키워드

Red Tide, Oceanographic factors, Marine GIS

1. 서 론

본 연구 대상 지역인 한국 남해 중부해역에 위치한 여수연안 및 고흥연안은 전형적인 리아스식 해안으로서 해안선이 복잡하고 수심이 대체로 얕은 천해지역이다(Fig. 1). 또한 본 연구 지역은 쿠로시오의 지류인 대마난류의 영향을 받는 외해수가 유입되고, 북쪽에서는 유역면적이 4897km²의 섬진강 담수가 광양만을 거쳐 유입되고 있다[1]. 그리고 직·간접적으로 중국대륙의 연안수의 영향을 받는 곳이 곳이기도 하다[2]. 해양인자들로서는 수온, 염분, 용존산소, 화학적산소요구량, 총인, 총질소, 클로로필, 부유물질을 각각 사용하여 적조발생과 관련한 해양인자들과의 관계특성을 파악하였다. 여기서 사용한 자료들은 실제 관측 자료를 사용하였다. 일반적으로 적조가 발생하기 전에는 기온이 높고 풍속이 약하고, 강수량이 많을 것으로 알려져 있는데[3-6], 앞서 발표한 적조발생과 기상인자간의 상관성 연구의 결과에 따르면 전 조사기간에 걸쳐 적조가 6~9월에 발생했다[7]. 따라서 본 연구에서는 기상인자가 아닌 해양인자들을 중심으로 이 인자들이 적조발생과 어떤 상관성을 가지는가를 알아보는 것이 그 목적이다.

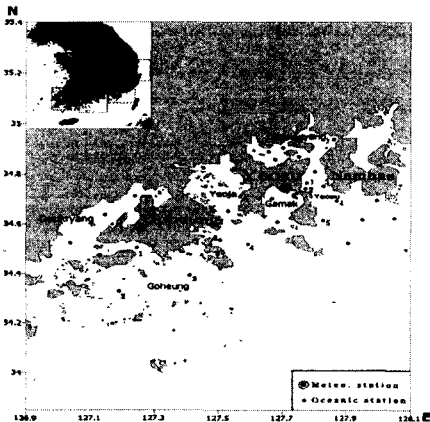


Fig. 1. Middle coastal area in the South Sea of Korea.

II. 자료 및 방법

최근, 우리나라 연안의 적조발생 해역은 남해 연안지역에 집중적으로 발생하여 연안해류를 따라 동해 연안역으로 진행되는 경향이 있다. 그러나 본 연구의 대상지역은 남해 중부해역이므로 이 해역에 대한 적조유발 해양인자들에 대한 자료를 수집하여 연구를 수행하였다. 따라서 본 연구에서 선정한 주요 관측점을 Fig. 1에 나타내었으며 자료 내역은 다음과 같다. 해양인자와 관련하여, 국립수산과학원의 1996년부터 2001년까지 각각의 2월, 5월, 8월 그리고 11월에 조사된 연안별 환경조사 연보 [8] (수온, 염분, 용존산소, 화학적산소요구량, 총인, 총 질소, 클로로필, 부유물질)를 사용하였다. 끝으로 계절은 3~5월을 봄, 6~8월을 여름, 9~11월을 가을 그리고 12~2월을 겨울로 각각 구분하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 해양인자의 연간 및 월간 변화

1.1 수온과 염분

1996년부터 2000년의 기간동안에 각각 2월, 5월, 8월, 11월에 표층 및 저층에서 조사된 수온, 염분, Chl_a, 부유물질, 인산염, 질산염 자료를 사용하여, 여수 및 고흥지역에 대한 해양인자들의 연간 및 월간변화 특성을 파악하였다. 수온의 경우, 표층 및 저층에서 여수와 고흥 모두가 여름에는 높고 겨울에는 낮은 뚜렷한 계절적 변화를 보여주며, 계절에 관계없이 여수가 고흥에 비해서 상대적으로 약간 높다 (Fig. 2a와 Fig. 3a). 그리고 여수는 매년 고흥과는 달리 규칙적으로 수온이 증가하는 추세를 보인다. 특히 2000년의 8월이 전년에 걸쳐서 가장 높았으며 외해쪽의 5번 정점 (Fig. 1)에서 가장 높았다. 표층 및 저층의 염분은 여수와 고흥 두 지역이 수온의 변화와는 달리 지역적인 특성에 따라서 그 변화양상이 다르게 나타나지만, 대체로 강우량의 변화에 좌우된다는 것을 알 수 있다 (Fig. 2b와 Fig. 3b). 즉, 여수의 경우를 보면, 1998년 및 2000년의 8월에 염분이 매우 낮게 나타난다. 이것은 고흥과는 달리 여수는 섬진강 하구에 접해있으면서 많은 강수량으로 인한 담수유입으로 염분이 낮게 나타난다는 것을 의미한다. 특히 섬진강 하구에 인접한 2·3번 정점 (Fig. 1)의 염분이 매우 낮았다.

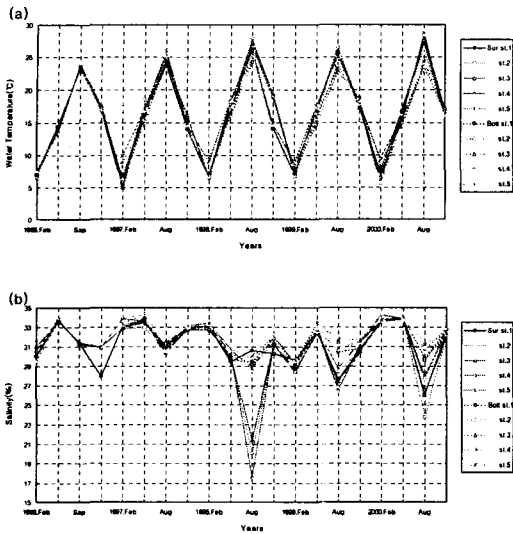


Fig. 2. Annual and monthly variations of (a) water temperature and (b) salinity in Yeosu.

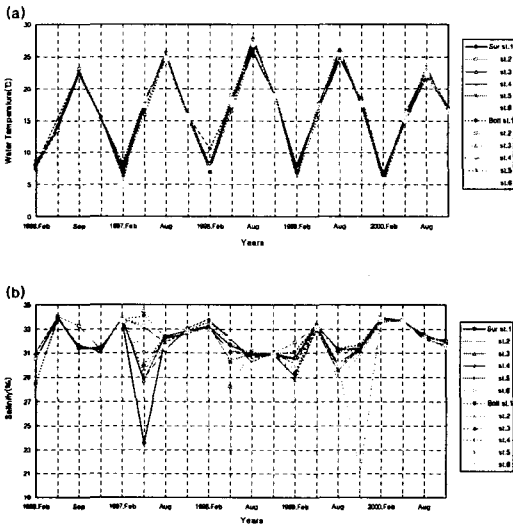


Fig. 3. Annual and monthly variations of (a) water temperature and (b) salinity in Goheung.

1.2 클로로필과 부유물질

전조사기간에 걸쳐서 Chl_a는 표층에서 주로 여름철인 8월에 두 지역에서 모두 높게 나타난다 (Fig. 4a와 Fig. 5a). 이는 식물성플랑크톤의 증식 때문이다. 영양염류인 질산염과 인산염은 적조 발

생과 관련하여 식물성플랑크톤의 중요한 영양 공급원이 된다. 표층에서의 부유물질의 연간변화를 보면, 대체로 두 지역 모두가 어떤 규칙적인 변화를 보이지 않는다 (Fig. 4b와 Fig. 5b). 여수의 경우는 고흥에 비해서 상대적으로 우기인 여름철에 약간의 규칙성을 보인다. 이때 1999년 및 2000년의 8월에 3번 정점 (Fig. 1) 에서 가장 높은 것을 알 수 있다. 그리고 고흥의 경우는 대체적으로 여수에 비해서 높게 나타나고, 전 조사기간 중 2000년 8월에 6번 정점 (Fig. 1) 에서 47 mg/l 로서 가장 높은 부유물질 농도를 보였다. 이와 같이 두 지역에서 부유물질이 높아지는 경우는 근본적으로 강수량에 의한 육상기원물질의 수송과 밀접한 관계가 있기 때문인 것으로 보여진다. 이때 부유물질은 식물성플랑크톤의 성장을 촉진시키는 비타민류, 철, 망간 등의 미량원소를 함유하고 있다.

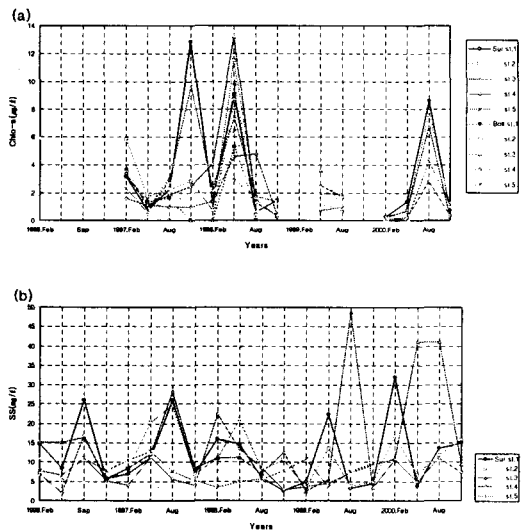
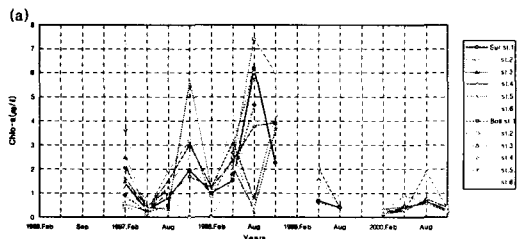


Fig. 4. Annual and monthly variations of (a) chlorophyll_a and (b) suspended solids in Yeosu.



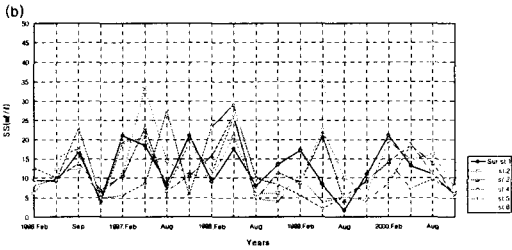


Fig. 5. Annual and monthly variations of (a) chlorophyll_a and (b) suspended solids in Goheung.

1.3 영양염류

여수와 고흥에서의 표층의 질산염(Fig. 6a와 Fig. 7a) 및 인산염(Fig. 6b와 Fig. 7b)은 대체적으로 8월에 낮게 나타난다. 2000년 8월에 여수~돌산해역에서 적조가 발생했을 때의 경우와 비교해보면, 이때 인산염과 질산염이 대체로 그 수치가 낮았는데 이는 적조생물에 의한 소모 때문이다. 즉, 적조가 일어나기 전인 6월경에는 적조생물의 먹이인 인산염과 질산염이 높은 것을 알 수 있으나 8월경에 적조가 발생하여 증식을 하면서 그 수치도 낮아진다는 것을 알 수 있다.

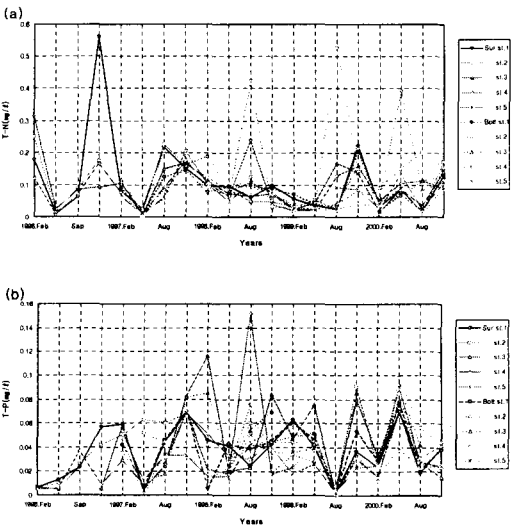


Fig. 6. Annual and monthly variations of (a) nitrogen and (b) phosphorus in Yeosu.

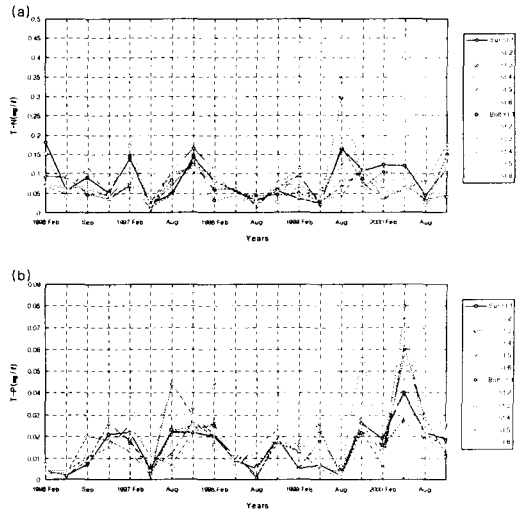


Fig. 7. Annual and monthly variations of (a) nitrogen and (b) phosphorus in Goheung.

1.4 용존산소와 화학적산소요구량

용존산소(DO)는 적조 발생시 적조 생물의 분해로 인한 미생물 용존산소가 감소되는 것을 알 수 있었고, 특히 저층에서 큰 감소가 있었다(Fig. 8a와 Fig. 9a). 화학적산소요구량(COD)도 적조가 주로 발생했던 8월경에 크게 높았던 것을 알 수 있었다(Fig. 8b와 Fig. 9b).

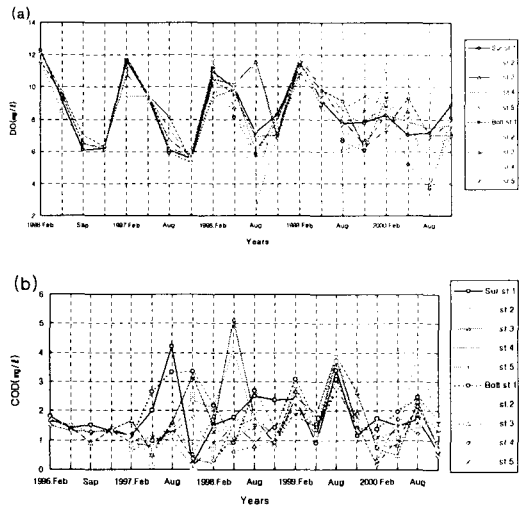


Fig. 8. Annual and monthly variations of (a) dissolved oxygen and (b) chemical oxygen demand in Yeosu.

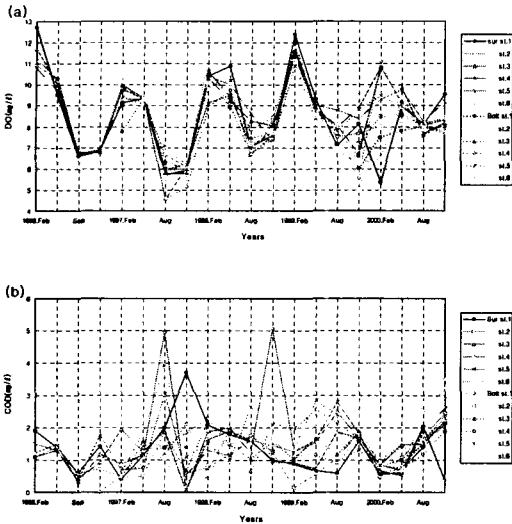


Fig. 9. Annual and monthly variations of (a) dissolved oxygen and (b) chemical oxygen demand in Goheung.

2. 해양인자의 공간분포

Fig. 10은 8월 한 달만을 나타내므로 기상인자와는 달리 적조발생 당일을 기준으로 한 앞선 시점에서 해양인자가 적조발생에 어떠한 조건으로 영향을 미치는 가에 대해서는 명확히 파악할 수는 없지만 대체적인 경향은 알 수 있다.

2000년 8월에 조사대상 해역에서의 수온은 23~28 °C 의 분포를 보인다(Fig. 10a). 그리고 조사대상해역의 8월에 대해서 염분은 22~32 ‰(Fig. 10b)를, Chl_a는 1.5~6.5 µg/l (Fig. 10c)를, 부유물질은 10~35 mg/l (Fig. 10d)를, 인산은 0.025~0.070 mg/l (Fig. 10e)를, 질산은 0.04~0.18 mg/l (Fig. 10f)의 분포 범위를 각각 나타낸다.

2000년 8월의 해양인자들의 공간분포를 비교하기 위해서 2000년 5월의 해양인자들의 공간분포를 Fig. 11에 나타내었다. 전체적으로 보면, 대체로 5월은 8월에 비해서 온도는 전 해역에 걸쳐서 낮게 (Fig. 11a), 염분은 전 해역에 걸쳐서 높게 (Fig. 11b), Chl_a는 전 해역에 걸쳐서 낮게 (Fig. 11c), 부유물질은 여수~동산해역과 남해 남부해역에서 낮게 (Fig. 11d), 인산염은 남해 남부해역에 높게 (Fig. 11e), 질산염은 여수 및 남해 남부해역에 높게 (Fig. 11f) 각각 나타난다. 해양환경학적으로 적조발생이 가능한 잠재력을 지닌 최적지를 파악하기 위하여, 해양인자들에 대한 5월과 8월간의 차 (Δ=8월-5월) 를 Fig. 12에 나타내었다.

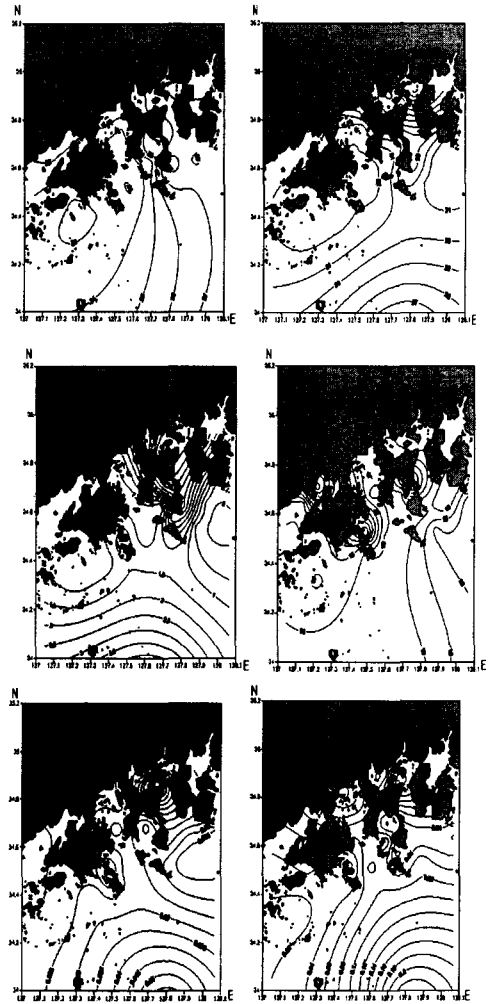


Fig. 10. Areal distributions of oceanographic factors on August 2000.

이 그림으로부터 유추할 수 있는 것은 8월의 해양인자들은 5월의 해양인자들에 비해서 적조가 발생할 수 있는 호조건을 유지하고 있다는 것을 잘 알 수 있다. 즉, 첫째는 계절적 변화에 의해서 수온은 전 해역에서 높고 (Fig. 12a), 둘째는 우기인 8월의 강우량에 의해서 해수가 희석되어 염분이 전 해역에 걸쳐서 떨어지고 (Fig. 12b), 셋째는 적조생물의 증식으로 Chl_a 농도가 전 해역에서 높고 (Fig. 12c), 넷째는 육상기원 유기 오염물질의 연안 유입에 따라 여수 및 고흥연안에서 부유물질의 농도는 증가하여 비타민류, 미량금속 (철, 망간), 특수유기물 등이 식물성플랑크톤의 증식을 촉진시키고

(Fig. 12d) 그리고 다섯째는 육상기원 유기 오염물질을 미생물이 분해하여 생성된 영양염류인 질산염과 인산염은 적조생물의 소모에 의하여 낮게 나타나는 것 (Fig. 12e와 f)을 알 수 있다.

를 결정할 수 있다.

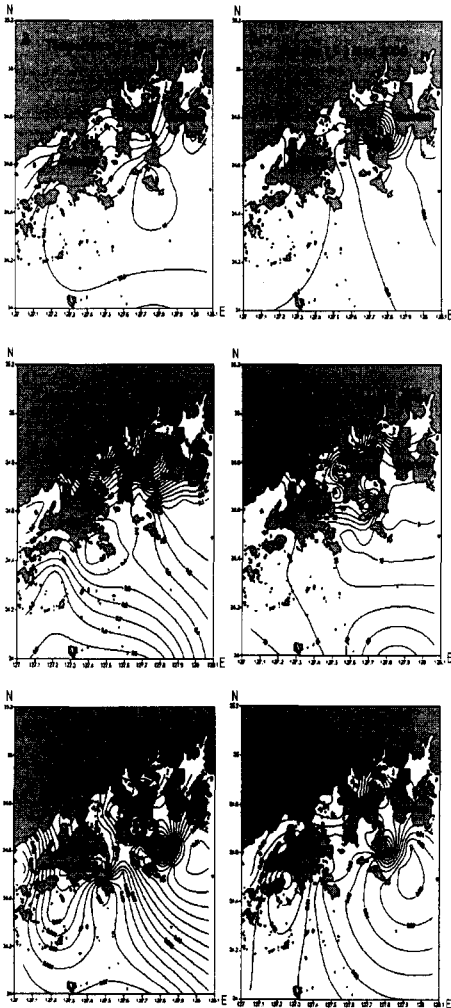


Fig. 11. Areal distributions of oceanographic factors on May 2000.

따라서 기본적인 해양환경조건인 따뜻한 수온과 강수량에 의한 영양염류의 유입만 이루어진다면, 적조생물의 성장과 번식에 제한 인자로 작용하는 부유물질(미량원소), 인산염(영양염) 그리고 질산염(영양염)을 가지고 적조가 발생할 수 있는 최적지

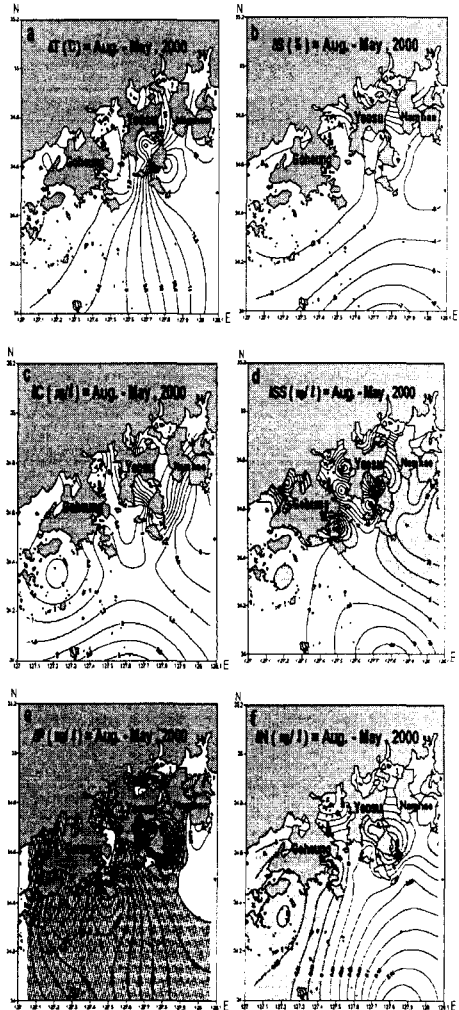


Fig. 12. Areal distributions of deviations(Δ =August-May) of oceanographic factors.

3. 적조발생 최적지 결정

적조발생 최적지를 결정하기 위해서는 반드시 부유물질은 '+' 값을, 인산염은 '-' 값을 그리고 질산염은 '-' 값을 각각 가져야 한다. 왜냐하면 5월에 비해서 8월은 식물성플랑크톤의 증식이 높아 영양염류인 인산염과 질산염은 소모되어 줄어들고 ($-\Delta$ =8월-5월), 반대로 부유물질은 강수량에 따른 유입으로 농도가 증가하기 때문이다 ($+\Delta$ =8월-5월).

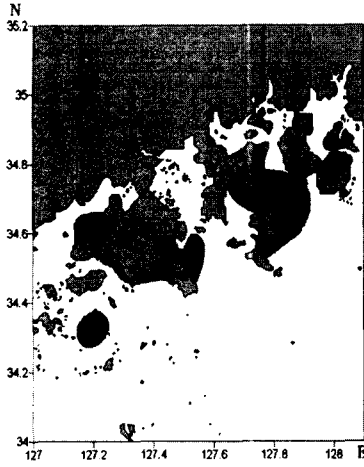


Fig. 13. Areal distributions of potential area for red tide occurrence on August 2000.

Fig. 12로부터 부유물질, 인산염, 질산염에 대한 각각의 공간분포 그림들을 각각 겹치면 (overlap) 8월의 적조발생 잠재 적지를 선정 할 수 있는데, 그 결과를 Fig. 13에 나타내었다. 여기서 여수~돌산해역, 가막만 북부지역, 남해 일부해역, 나로도해역, 고흥 남부의 일부 연안, 득량만과 인접한 고흥 서부 해역 등이 적조발생 최적지라는 것을 알 수 있다. 실제로 적조발생 상황 자료도와 비교해보면, 인산염과 질산염을 선호하는 적조생물인 편모조류 (Cochlodinium Polykrikoids) 가 8월 22일에 돌산해역 (80~910 cells/ℓ) 과 8월 23일에 나로도해역 (50~200 cells/ℓ) 에서 각각 발생하였다. 즉, 적지로 선정된 해역이 아닌 다른 해역에서는 적조가 발생한 사례는 찾아볼 수 없었다. 이때 위성을 통해서 8월 22일에 돌산해역 (2.5409~41.879 mg/m³) 에서 적조가 발생한 것을 포착 할 수 있었다.

IV. 결 론

남해 중부해역 (여수, 고흥)에서 적조발생과 관련하여 해양인자의 경우, 적조 다발월인 여름과 초가을에 기온과 마찬가지로 높은 수온을 유지한다. 또한 많은 강수량에 의하여 육상으로부터 유입된 부유물질이 증가하고 염분이 대체로 떨어지는 것을 알 수 있었다. 이때 적조의 bloom으로 인하여 대표적인 영양염류인 질소와 인의 값이 떨어진다. 그리고 적조생물의 광합성 작용이 활발하여 산소의 소모가 증가하여 용존산소가 급격히 떨어지고

화학적산소요구량이 높게 나타나는 것을 알 수 있었다. 즉, 해양인자와의 상관성은 적조의 발생조건인 수온이 적당하며 저염분과 부유물질, 클로로필, 질소-인이 높게 나타났고 용존산소는 적조생물의 산소소비로 인해 낮게 나타났음을 보여주어 여수와 고흥에서는 해양인자와 적조발생과의 관계가 명확하게 나타났음을 알 수 있다. 그리고 해양환경학적 특징은 따뜻한 수온, 낮은 염분, 높은 부유물질, 낮은 인산염 및 질산염의 분포를 보였다. 이때 식물성플랑크톤의 성장 제한인자로 작용하는 부유물질, 인산염, 질산염의 공간분포도를 이용해서 적조발생의 잠재력을 지닌 최적지를 결정하였는데, 최적지로서는 여수~돌산해역, 가막만 북부지역, 남해 일부해역, 나로도해역, 고흥 남부의 일부 연안, 득량만과 인접한 고흥 서부 해역 이었다[9].

참고문헌

- [1] 이영식, 박종수, 김성수, 전경암, 김영숙, 박중현, 백철인, 1999, 여수 돌산도 동부연안에서 담수유입에 의한 수질변화특성과 구조적조 발생, 국립수산진흥원연구보고, 57, 111~117.
- [2] 양재목, 장선덕, 강용주, 고관서, 장지원, 김인배, 이용천, 장수호, 1979. 수산화개론, pp 382.
- [3] 국립수산진흥원, 1997. 한국 연안의 적조 -최근 적조의 발생원인과 대책-, pp 280.
- [4] 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, pp. 34~43.
- [5] 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, pp. 1~20.
- [6] Park, J. S., 1991. Red tide occurrence and countermeasure in Korea, In Recent approacher on red tides(ed. Park, J. S. and H. G. Kim), NFRDI, Korea, pp. 1~24.
- [7] 윤홍주, 김영섭, 윤양호, 김상우, 2002. 원격탐사를 이용한 한국 남해 중부 해역에서의 적조 예찰 연구, I. 적조발생과 기상인자간의 상관성 연구, 한국해양정보 통신학회, 6권6호, pp. 843~848.
- [8] 국립수산진흥원, 1996~2001, 연안별 환경조사

연보.

- [9] Yoon, H. J. and Y. S. Kim, 2003. Satellite monitoring and prediction for the occurrence of the red tide in the Middle Coastal Area in the South Sea of Korea, Korean J. of remote sensing, 19(1), pp. 21~30.

저자소개



윤홍주(Hong-Joo Yoon)

부경대학교 환경해양시스템공학부 위성정보과학과
위성원격탐사공학 박사(프랑스 Grenoble I 대학, 1997)
※ 관심분야 : 위성해양학, 위성기상학, GIS, GPS



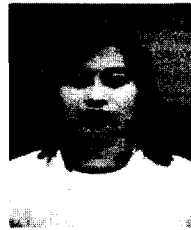
남광우(Kwang-Woo Nam)

경성대학교 도시공학과
Virginia Tech, GIS&CAD Application Post Doc.
※ 관심분야 : GIS Application/UIS



조한근 (Han-Kuen Cho)

부경대학교 환경·해양대학 위성정보과학과
해양공학 학사(여수대학교 해양공학과)
※ 연구분야 : 위성해양학, 위성정보과학, GIS



변혜경(Hye-Kyong Byon)

부경대학교 환경·해양대학 위성정보과학과
위성정보과학 학사(부경대학교 위성정보과학과)
※ 연구분야 : 위성해양학, 위성정보과학, GIS