

GIS를 이용한 적조의 시-공간적 분포 분석

정종철*

The Temporal and Spatial Distribution Analysis of Red Tide using GIS

Jong-chul Jeong*

요 약

본 연구의 목적은 GIS기술을 이용하여 적조의 시공간적인 분포를 분석하는 것이다. 적조에 의해 발생하는 피해는 적조 생물종에 따라 다양하게 나타난다. 때문에 적조의 피해를 저감하기 위해서는 시-공간적인 적조 생물종의 분포특성을 파악하는 것이 중요하다. 이러한 관점에서 우리는 최초의 적조발생지역, 공간적 발생빈도, 적조의 이동 등을 분석하였다. 본 연구에서 사용된 공간자료는 적조 속보 보고에 의해 공간분포를 디지털화하였고, 적조데이터베이스를 구축하기 위해 적조 생물종, 생물 밀도, 수온 등의 다양한 속성자료를 구성하였다. 적조의 시-공간적 분포 특성을 분석하기 위해 다양한 공간분석기법을 적용하였다. 이러한 공간분석 결과로부터 남해에서의 시-공간적이 적조 공간 정보를 얻을 수 있었다.

주요어 : GIS, 적조, 공간분석

ABSTRACT : The aim of this study is to analyze the temporal and spatial distribution aspects of red tide using GIS techniques. The damage caused by red tide appears various aspects according to the species, concentration and spatial distribution of red tide plankton. Therefore, in order to prevent the damage of red tide it is important to understand the distribution characteristics of red tide by each species according to time and space. In this perspective, we analyzed the beginning outbreak area, spatial occurrence frequency and spatial migration of red tide. The spatial data used by this study was constructed by digitizing the red tide quick report and coupled with various attributes such as species, concentration and water temperature for construction of red tide database. We used various spatial analysis methods

*남서울대학교 지리정보시스템공학과 교수(jcjeong@nsu.ac.kr)

such as union, intersect, tracking, buffer and spatial interpolation for analyzing temporal and spatial characteristics of red tide. From the result of these spatial analyses, we could get the spatial information on the temporal and spatial distribution characteristics of red tide at the Southern Sea.

Keywords : GIS, Red Tide, Spatial Analysis

1. 서 론

해양에 서식하는 동·식물플랑크톤, 원생동물 및 박테리아와 같은 미생물이 일시에 다량으로 증식되거나 물리적으로 집적되어 바닷물의 색깔을 변화시키는 적조 현상은 편의상 구성하고 있는 생물의 종류에 따라 규조적조, 편모적조, 세균적조, 수색에 따라 청조, 적조, 백조 그리고 적조의 모양에 따라 떠상 적조와 반점 적조, 발생해역에 따라 연안성 적조, 외양성 적조 등으로 불리운다 (국립수산진흥원, 2000a). 남해 연안에서의 적조발생은 1984년까지는 규조류, 와편모조류, 혼합종 등이 우세하게 출현하였으나, 1995년도에는 와편모조류인 *Cochlodinium polykrikoides*이 고밀도로 분포하여 적조발생의 92%를 차지하게 되었다 (국립수산진흥원, 1997; 박주석외, 1998).

특히 양식장의 어류와 패류에 심각한 피해를 발생시키는 *C. polykrikoides* 적조의 최초 발생해역은 2000년을 제외하고 1995년부터 2001년까지 전남 고흥 나로도 부근의 특정연안에서 시작되었고, 발생시기가 7월이나 8월의 시점으로 비교적 일정하였다 (국립수산진흥원, 2000b; 국립수산과학원, 2002).

적조의 공간적인 분포와 원인 등을 연구하기 위해 조사선에 의한 관측과 기상 조건, 해양환경 등에 관련한 연구가 이루어졌고, 육상에서 기인하는 영양염류와의 관계 등을 고려한 연구들이 수행되었으나, GIS와 원격탐사에 의한 연구는 아직 부족한 실정이다(국립수산과학원, 2002: 국립수산진흥원, 1994, 1995, 1996, 1997, 2000).

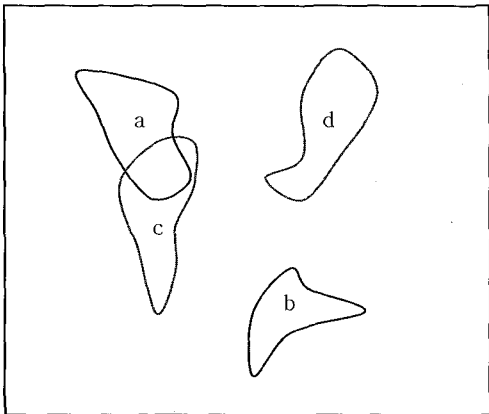
정종철(2003, 2004)은 GIS기법에 의해 적조의 공간적인 분포를 파악하고 적조의 이동을 분석하기 위해 적조 정보를 데이터베이스화하는 연구를 수행하였고, 이를 적조 정보시스템으로 구축하였다. 그러나 유해성 적조의 공간적 분포와 양식의 위치에 의한 피해 범위를 분석하는 등의 연구는 아직 제시되지 못하고 있는 형편이다.

이러한 현실 배경은 바탕으로 본 연구는 우리나라 연안 해역에서 유해성 적조인 *C. polykrikoides*의 발생과 이동에 대한 공간분석을 GIS기법에 의해 수행하고, 이를 통하여 적조의 발생해역 및 발생 시기, 적조의 분포 및 이동속도, 지속기간 사이의 관련성을 구명하는 목적을 갖는다.

2. 연구방법 및 자료

적조에 의한 피해는 발생한 적조의 중

각각 연속된 2일 동안 첫째 날 및 둘째 날에 발생한 적조의 공간 분포상태를 나타낸다고 할 때, c는 하루 전에 발생한 적조 a가 공간적으로 이동 확산한 것으로 판단하며 d의 경우에는 첫째 날 발생한 적조와 상관없이 독립적으로 둘째 날에 발생한 것으로 추정하였다. 이와 함께 적조의 일별 이동경로를 ArcGIS Tracking Analysis를 이용하여 시각화된 동영상으로 제작하여 시간에 따른 공간적 이동경로 분석의 참고자료로 사용하였다.



[그림 3] 유해성 적조의 공간이동경로 분석

적조의 최초 발생지역 분석은 각 적조 데이터의 발생일로부터 5일 이전까지 단 한 차례도 적조 발생이 보고되지 않은 경우, 해당 지역을 적조 최초 발생지점으로 가정하여 분석을 실시하였다.

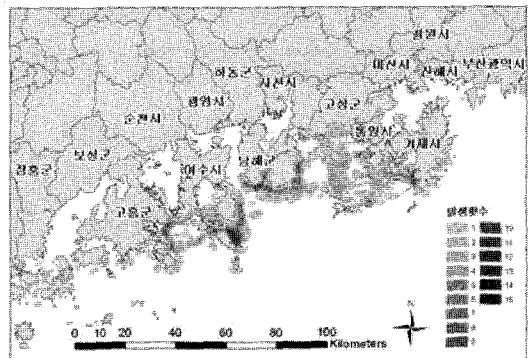
마지막으로 조사된 적조 자료 중 생물 개체 농도가 높은 지점에 대한 분석을 실시하였다. 유해성 적조인 *C. polykrikoides*의 경우 발생면적과 발생농도를 기준으로 반경 2~5 km 및 발생이 관측된 시점부터 개체농도 1000 개체/ml까지는 적조주의보

를, 반경 5km 이상이며 발생농도 1000 개체/ml 이상부터는 적조경보를 발령하게 되어있다. 이러한 적조예보 기준에 기초하여 농도 분석을 실시하였다. 발생개체 수 1000 개체/ml 이상인 적조경보 발생 지역에 대해서 발생 지점의 공간적 특성을 분석하기 위하여 육지 및 양식장과의 공간 위상관계 분석을 실시하였으며, 개체 농도가 높지 지역과 적조 발생빈도가 높은 지역 및 초기 발생지점과의 공간적 일치성 여부를 함께 분석하였다.

이상의 분석 방법은 구체적으로 유해성 적조인 *C. polykrikoides*에 대한 2002, 2003년 발생 자료를 이용하여 수행되었다.

3. 분석 결과

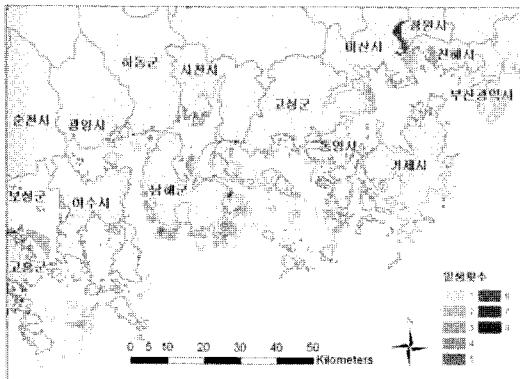
2002년도에 조사된 일자별 적조 발생 자료를 중첩하여 지역별 발생 빈도를 분석하였다. 2002년도에 발생한 지역별 유해성 적조 발생 현황을 나타내면 다음 [그림 4]와 같다.



[그림 4] 2002년 유해성 적조의 발생범위와 빈도

[그림 4]에서 확인할 수 있는 것과 같이 2002년도에 경우 고흥군과 거제시 사이 특히, 여수시와 남해군 앞바다에서 적조가 빈번하게 발생한 것으로 분석되었으며, 가장 많이 적조가 발생한 지역은 총 15회의 적조가 발생한 것으로 분석되었다. 이와 함께 발생빈도와 발생면적을 함께 비교할 경우, 발생빈도 4회 이하인 경우가 전체 발생 면적의 90 %를 차지하여 대부분의 경우 4회 이내의 발생 빈도를 보인 것으로 분석되었다. 특히, 적조 발생 빈도가 1회인 경우가 전체의 약 50 %를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

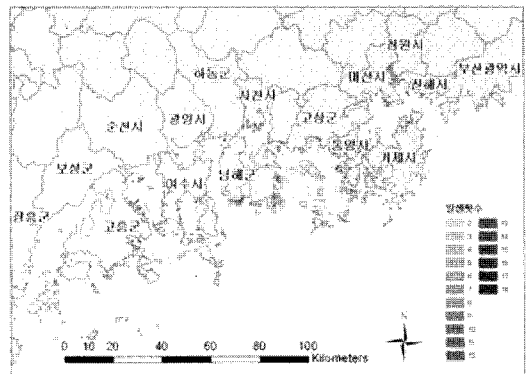
2003년도에 조사된 적조 발생 횟수별 분포 현황은 [그림 5]와 같다. [그림 5]에서 확인할 수 있는 것과 같이 2003년의 경우 남해군 연안 해역과 마산시와 창원시 사이의 마산만 일대에 많은 적조가 발생한 것으로 분석되었다. 가장 높은 빈도를 보인 지역은 총 8회의 적조 발생이 보고되었으며, 전체적으로 1회만 조사된 지역이 전체의 78 %, 2회 이하로 조사된 지역이 전체의 90 %를 차지하는 것으로 분석되었다.



[그림 5] 2003년 유해성 적조의 발생범위와 빈도

2003년의 경우 총 3회 이상 적조가 발생한 지역이 전체 적조 발생 면적의 7.8 %를 차지하는 것으로 분석되었으며, 3회 이상 적조가 발생한 지역 중 마산만 일대가 총 8회로 가장 높은 적조 발생 빈도를 보였으며, 다음으로 남해군 삼동면 서쪽 해안이 7회의 적조 발생 횟수를 기록하였다.

2002년과 2003년 적조 조사 자료를 중첩하여 2년 동안 연속해서 적조가 발생한 지역을 확인하였다. 2년 동안 연속해서 적조가 발생한 지역은 [그림 6]과 같다. [그림 6]에서 확인할 수 있는 것과 같이 고흥군 서쪽 연안으로부터 진해시 서쪽 해안에 이르는 지역에 광범위하게 2002, 2003년 2년 연속하여 적조가 발생한 것으로 나타났다.



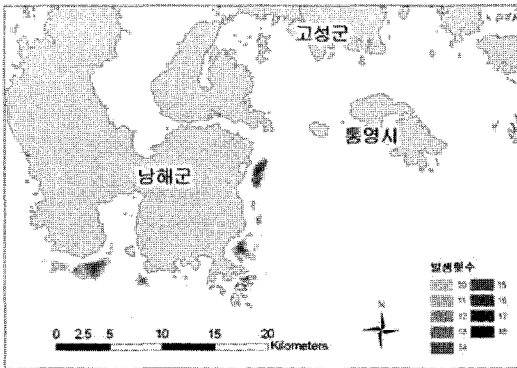
[그림 6] 2002년, 2003년 연속해서 적조가 발생한 지역

2002, 2003년 연속해서 적조가 발생한 지역 중 발생 빈도가 비교적 높은 지역을 살펴보면 [그림 7]과 같다. 그림에서 붉은색으로 표시된 부분은 2년 동안 총 9회 이상 적조가 발생한 지역을 나타낸다. 2년 연속 적조가 발생한 지역 중 9회 이상

의 발생 빈도를 보인 지역은 전체 면적의 약 9.3 %를 차지하고 있다. 그림에서 남해군 주변해역에 2년 동안 빈번하게 적조가 발생한 것을 확인할 수 있다.

이 지역은 Choi et al.,(2001)의 연구에서 적조의 다중 발생지역으로 연구된 사례와 일치하는 결과를 나타내고 있어서 나로도 와 소리도 해역의 해양환경 조건에 의한 영향이 적조의 빈번한 발생과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

또한, Suh et al.,(2000)과 NFRDI(2002)는 이러한 해양환경 영향인자를 해수온의 변화에 의해 분석하였다.



[그림 7] 2002~2003년 동안 총 9회 이상 유해성 적조가 발생한 지역

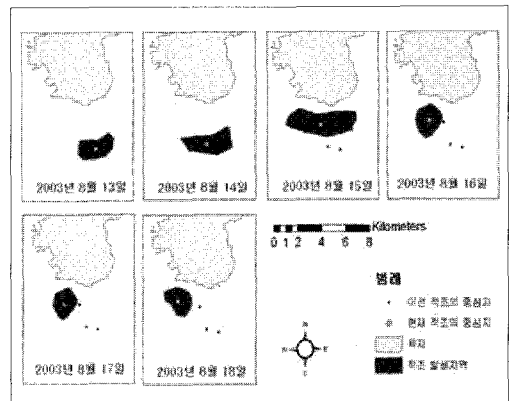
발생한 유해성 적조가 공간적으로 어떻게 이동, 확산하는 지에 대한 분석을 실시하였다. 이동경로 분석은 2003 년도 조사 자료에 대해 실시하였으며, 분석결과는 다음 표1과 같다. 분석결과 84 %의 적조가 공간적으로 1 일 이내에 사라지는 것으로 분석되었으며, 가장 오래 동안 공간적으로 지속된 적조는 총 6일 간에 걸쳐 이동, 확산된 것으로 분석되었다.

<표 1> 적조 지속시간 (2003년)

지속시간	개수	누적비율
1 일	146	0.84
2 일	13	0.91
3 일	10	0.97
4 일	3	0.99
5 일	1	0.99
6 일	1	1.00

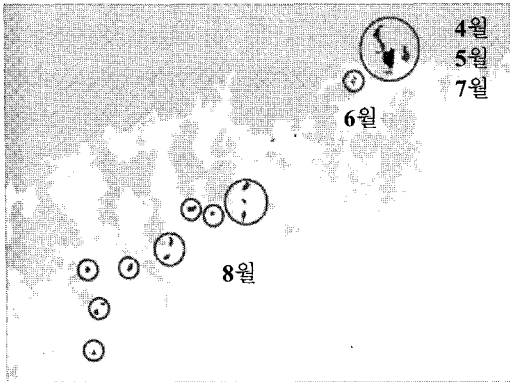
가장 긴 6 일 동안 발생한 적조의 공간적 이동 모습은 [그림 8]과 같다. 발생지역은 남해군 앞바다로 2003년 8월 13일부터 8월 18일까지 적조가 유지된 것으로 분석되었다. 그림에서 빨간색 폴리곤은 적조의 공간적 분포를 노란색과 검은색 포인트는 각각 현재 적조와 이전 일자 적조의 중심점을 나타낸다.

[그림 8]에서 볼 수 있는 것과 같이 외해에서 발생한 적조가 점차 육지 쪽으로 접근하며 그 분포를 확장하여 3 일째 되는 날 가장 큰 분포를 보인 후 점차 세력이 감소하여 6일째 되는 날까지 지속된 것을 확인할 수 있다.



[그림 8] 시간에 따른 적조의 이동 모습

적조의 발생 시작점 분석은 2003년 데이터를 기준으로 월별 적조의 최초 발생지에 대한 분석을 실시하였다. 분석 결과는 다음 [그림 9]와 같다.

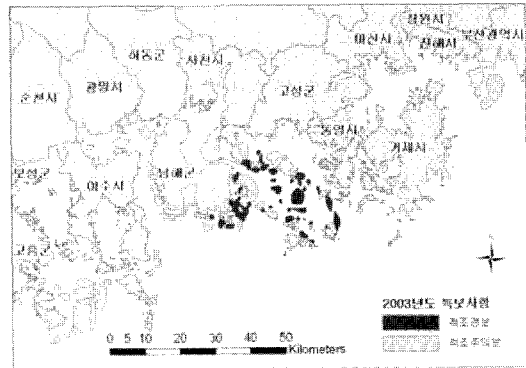


[그림 9] 2003년도 월별 최초 적조발생지역

[그림 9]에서 확인할 수 있는 것과 같이 4월, 5월, 7월의 경우에는 마산, 창원, 진해시 사이의 마산만에서 적조가 최초 발생한 것으로 분석되었으며, 6월에는 고성군과 마산시 연안에, 8월에는 남해, 여수시 앞바다에 광범위한 지역에서 최초 적조가 발생한 것으로 나타났다. 월별 적조의 최초 발생 지점은 적조가 다른 지역에서 이동하여 분포한 것이 아니라 [그림 9]에 제시된 지역에서 처음 적조가 발생한 해역을 나타낸 것으로, 적조가 처음 발생한 지점으로부터 적조가 공간적으로 이동, 확산된다는 점을 고려할 때 이들 해역은 매우 큰 의미를 갖는다고 할 수 있다.

국립수산과학원에서는 적조현상이 발생하여 어업피해 발생위험이 있을 때 발생면적, 원인생물, 적조생물의 밀도 등에 따라 적조주의보, 적조경보 등의 적조예보

를 발령한다. 2003년도에 발령된 적조예보에 대해 적조주의보, 적조경보에 따른 공간적 분포 모습을 살펴볼 경우 다음 [그림 10]과 같다.



[그림 10] 2003년도 적조특보 발령지역

[그림 10]을 살펴볼 경우 적조주의보의 경우 남해안 일대에 비교적 넓게 발령된 반면에, 적조경보는 남해군과 통영시, 거제시 사이에 집중적으로 발생한 것을 알 수 있다. 발생면적에 있어서는 적조주의보와 적조경보가 각각 566 km²과 169 km²의 면적에 발생한 것으로 나타났으며, 이는 2003년 전체 적조발생면적 1389 km²에 대하여 각각 41 %와 11 %를 차지하는 비율이다.

4. 결 론

2002년, 2003년 적조발생 자료를 이용하여 적조 발생의 시·공간적 특성을 살펴 보았다. 본 논문에서 사용된 GIS 공간분석 기법을 이용할 경우, 적조의 발생 및 이동·확산 특성의 파악과 이를 통한 장

단기 예보 및 변동사항 분석에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 또한 이러한 분석방법에 기초한 적조 관리 시스템을 구축할 경우 적조 관리를 위한 합리적인 의사결정 수립에 좋은 참고자료를 제공할 수 있을 것이다.

향후 이상의 분석방법을 이용한 적조의 시·공간적 발생특성 분석과 함께 육지 및 양식장과의 공간적 위치 관계 분석 및 수온 분포, 해류이동 자료와의 연관성 분석을 실시할 경우 적조의 공간적, 시간적 특성을 파악하는데 큰 도움이 될 것이다.

참고문헌

국립수산과학원, 2002. 2000~2001년도 한국 연안의 적조발생상황, 국립수산과학원 적조자료집, 1~158쪽.
국립수산진흥원, 1997. 한국연안의 적조. 국립수산진흥원 최근 적조의 발생원인과 대책, 1-280쪽
국립수산진흥원, 1998~2002. 한국 해양환경조사 연보(1997~2001). 2~6권.
국립수산진흥원, 2000a. 해양환경정보 총람. 해양수산부 국립수산진흥원, 1-346쪽

국립수산진흥원, 2000b. 1999년도 한국연안의 적조발생상황. 국립수산진흥원 적조자료집, 2:1-206쪽
박주석, 김학균, 이삼근, 1998. 진해만의 적조현상과 원인 생물의 천이. 수진연구보고, 41:1-26.
정종철, 2004. 한국 연안의 적조형성에 대한 기상인자와의 통계적 해석과 RS와 GIS응용, 한국지리정보학회 춘계학술.
정종철, 2004. 적조정보시스템구축의 GIS데이터베이스화 연구, 한국GIS학회, 제 12권 3호, pp.263-274.
Choi H. Y. 2001. Oceanographic condition of the coastal area between Narodo Is. and Sorido Is. in the southern sea of Korea and its relation to the disappearance of red-tide observed in summer 1998. The Sea, Journal of the Korean Society of Oceanography 6(2):49-62.
NFRDI, 2002, Handbook of Marine Harmful Algal Blooms in Korean Waters. p 28.
Suh Y. S., J. H. Kim and H. G. Kim. 2000. Relationship between sea surface temperature derived from NOAA satellites and *Cochlodinium polykrikoides* red tide occurrence in Korean coastal waters. Journal of the Environmental Sciences 9(3):215-221.