

지리정보시스템을 이용한 적조의 이동특성분석 Migration Characteristic Analysis on Red Tide Using GIS

김진기¹⁾

Kim, Jin Gi

Abstract

The research on red tide is generally in progress through field work, such as the naked eye and sampling. It was difficult to forecast exactly the course, from appearance of red tide to disappearance, with the established ways of investigation and analysis. Accordingly it is need to analyze environmental factors in time and space, the appearance of red tide and the path of its migration by more objective and scientific methods. In this study, GIS is applied to analyse the space character of red tide and the interpolation of IDW (Inverse Distance Weight) is applied to assume the density distribution of red tide after gather data by using Arc/Info. After IDW interpolation, the sea area occurred over 1,000 cells/ml of red tide density is extracted with CON and SUM Function of Grid Module, and the density of the sea area is accumulated daily. As a result of this study, the distribution condition of red tide is found timely and spacially by applying GIS to the sea area of red tide, the results indicated that the spatial density and the cumulative frequency about the origin of red tide using GIS, the sea area demonstrated that the maximum density and the maximum frequency varied significantly over the Nammyun of Namhae-Is. with the maximum frequency being 49 times. accordingly if data about the areas of red tide will occur from the present are accumulated, the shifting route of red tide occurrence and extinction can be predicted.

Keywords : Red Tide, Geographic Information System, Interpolation, Density

초 록

적조에 관한 조사는 육안과 샘플링에 의한 현지조사에 의해 일반적으로 진행되고 있다. 이와 같은 기존의 조사, 분석방법은 적조의 발생과 소멸까지의 경로를 정확하게 예측하기 곤란하였다. 이에 좀더 객관적이고 과학적인 방법으로 적조의 발생과 그 이동경로 등 시·공간적인 환경인자를 분석해 볼 필요성이 대두되고 있다. 본 연구에서는 지리정보시스템을 적용하여 적조의 공간특성을 분석하고자 Arc/Info를 활용하여 자료를 구축한 후 적조발생해역에서의 적조밀도분포를 추정하기 위해 IDW 보간법을 적용하였다. 그 후 GRID 모듈의 CON 및 SUM Function을 이용하여 밀도 1,000cells/ml이상 발생된 해역을 추출하였으며, 추출된 해역을 기준으로 날짜별로 밀도를 누적하였다. 본 연구를 통하여 적조가 발생하는 해역을 지리정보시스템에 의해 적조의 분포 현황을 시·공간적으로 판단할 수 있었으며, 적조발생지의 공간별 밀도와 누적빈도를 GIS를 적용하여 분석한 결과 최대밀도 발생해역과 최대 빈도 발생해역 모두 남해도 남면일대 해역으로서 최대 누적빈도는 49회임을 알 수 있었다. 이를 근거로 차 후 발생하는 적조발생해역에 대한 자료의 보완이 이뤄질 경우 적조 발생과 소멸까지의 이동경로를 예측 할 수 있으리라 판단된다.

핵심어 : 적조, 지리정보시스템, 보간법, 밀도

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

적조(red tide)란 바다에 사는 플랑크톤이 대량으로 번

식하여 바닷물 색깔이 변하는 현상을 말한다(경상대학교, 1999). 이러한 적조는 우리나라를 비롯하여 세계적으로 해양을 끼고 있는 나라의 수산업과 관광산업에 엄청난 피해를 끼치고 있고, 해마다 적조발생 해역과 발생빈도가

1) 정희원 · 한영대학 토목환경과 교수(E-mail:gsis4222@empal.com)

증가하고 있으며, 그 피해액도 급증하고 있다(해양수산부, 1999; 국립수산물진흥원, 1995,1997).

그러나 현재까지 적조에 관한 전반적인 연구자는 해양생·화학적 전공학자임으로 생·화학적인 적조원인을 규명하는데 그 초점이 맞추어져 있어 실제 지리학적인 적조의 발생원인과 분포 그리고 그 이동양상을 규명하기 위한 연구는 미약한 실정이다. 기존의 도면에 의한 조사와 분석방법으로는 이와 같은 적조의 정확한 판단이 곤란하기 때문에 최근에는 객관적이고 합리적인 지리정보시스템(geographic information system; GIS)을 이용하여 시·공간적으로 적조를 분석하려는 방법이 시도되고 있으나 아직 활용단계에 이르지 못하고 있다(김진기, 2002). 따라서 적조의 적극적인 대처방안을 강구하기 위하여 적조발생지를 과학적이고 합리적으로 파악할 수 있는 방법의 연구가 요구되고 있다.

본 연구에서는 광역적이면서 정량적인 자료를 근거로 연안해역의 주계자료를 계층화하여 적절한 분석 및 가시화가 가능한 GIS를 이용하여(유복모, 1994) 연구지 연안해역에 발생하는 적조의 공간적인 분포 특성을 기준으로 적조의 이동공간에 대한 경과 등을 분석하여 합리적인 적조의 대처방안에 기여할 수 있는 방법을 모색하는데 일조하고자 한다. 연구 결과를 토대로 남해연안의 적조 발생공간의 명확한 위치를 결정한 후 발생 공간에 대한 조류 이동특성과 수심, 수온, 기상인자 등의 여러 환경인자를 적조공간에 중첩 대입함으로써 인자별 공간 특성이 도출되리라 판단되며 적조발생지에 대한 공간 결정은 발생과 소멸 공간의 유사성에 대한 기존 연구의 사례를 근거로 적조의 피해를 최소화하는 대책 수립에 근거가 되리라 본다(김학균 등, 1999).

1.2 기존 적조 관련 연구내용과 미비점

표 1과 같이 1995년 남해안에서 대규모 발생한 유해적조 *Cochlodinium polykrikoides*(이하 *Cochlodinium P.*)로 인해 약 764억의 막대한 경제적 손실을 입게 됨으로서 적조발생과 유지, 소멸에 대한 전반적인 연구와 정부차원의 투자 필요성이 절실히 대두되기 시작하였고, 이에 발맞추어 적조에 대한 관심과 연구가 다각도로 진행되었다.

기존 적조관련 연구 분야는 크게 적조발생(이영식, 2002), 확산(권철휘, 2002), 소멸 기작(mechanism)연구 분야(최현용, 2001)를 포함한 적조 현상에 대한 “이해(understanding) 연구 분야”와 적조발생 저감연구(김삼혁 외, 2000), 적국

표 1. 적조발생 피해와 내용

년도	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02
피해(억원)	764	21	15	1.6	3.2	2.6	84	48.4
최초발생일	8/29	9/4	8/24	8/30	8/11	8/22	8/14	8/2
소멸일	10/23	10/2	9/20	10/2	10/3	9/19	9/24	9/27

적 적조방제 기술개발연구(김성재, 2000) 등을 포함한 “대책연구 분야”로 나눌 수 있다(정해진, 2002). 또한 적조는 해양생물뿐만 아니라 해양물리, 화학, 지질학, 공간학적 특성에 의하여 영향을 받으므로 적조를 이해하기 위해서는 종합적인 접근을 해야만 한다. 그러나 현재까지의 연구는 주로 발생과 확산 소멸을 기상 및 생·화학적 내용을 근거로 한 해양환경조건에 대한 연구와 적조의 퇴치 방법 등의 연구에 주로 제한되었기 때문에 실제 적조의 발생지 및 이동에 관련된 공간 특성에 대한 연구는 미비하였다(J.G Kim, 2004). 이후 2002년 “적조방지 종합대책”을 근거로 해마다 반복되는 적조피해를 막기 위해 2003년부터 남해안 어류양식 신규면허를 불허하고, 2005년까지 총 2조9천여억원을 투입하는 등 많은 사업자금이 투입되나 실제 가시적이고 근본적인 해결 방안은 대두되지 못하고 있다. 또한 우리나라 적조연구의 대부분이 국가적 지원에서 이루어지고 있는 현실에서 이러한 수혜를 받는 연구소, 공공기관, 학계의 연구 결과는 논문이나 특허로 발표되어 일반에 공개됨으로 그 자료를 적조에 관심이 있는 모두가 이용할 수 있도록 해야 하나 매우 제한적이다. 또한 연구 상황에 따라 적절한 인원의 배치와 국가간 경쟁에 대한 공동의 대응 방안을 위해 국내 기관간 공동연구는 필수적이라고 본다. 결국 적조연구의 특성으로 기존의 적조연구기관을 포함한 공간위치해석 분야 등 다양한 분야에서 정확한 데이터를 구축해야 적조에 대한 공동의 종합적 목표를 도달할 수 있다고 보며, 국제적 수준의 연구를 위해 학·연간 상호 신뢰를 구축해야 한다고 본다.

1.3 연구 범위 및 방법

본 연구에서 적용한 공간적 범위는 그림 1과 같이 광양만과 여수연안을 포함하는 7개 해역의 범위이다. 이 해역은 국내에서 대표적으로 발생하는 유해적조인 *Cochlodinium P.*가 매년 발생하는 곳이며 약 270km² 이상의 양식장이 연구대상지 일대에 분포하고 있으므로(여수시, 2006) 하계에 발생하는 유해적조의 발생에 민감한 해역이다. 연구에 적용한 자료는 *Cochlodinium P.* 유해적조가 급속하게

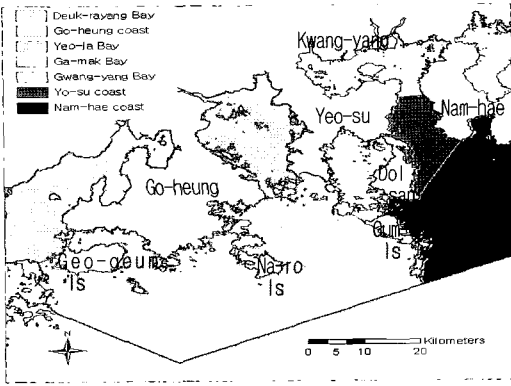


그림 1. 연구대상지 현황도

발생된 해인 1996년부터 2006년까지 취득한 11년간의 관측자료 중 자료의 방대함으로 인해 공간분석을 위해 취득이 가능한 짝수년을 기준으로 적조의 공간 분포도를 작성하기 위한 1/25,000 수치지형도에 적용하였다. 이와 같은 자료를 사용하여 적조 발생지의 위치를 평면직각좌표로 변환하여 적조가 발생된 날짜 별 및 일정별 순서로 중첩시켜 그리드 형태로 보간작업을 하였다. 보간을 통해 취득된 밀도 300cells/ml 이상 결과를 적조가 발생된 각 일정별 밀도와 밀도 1,000cells/ml 이상 발생정점을 기준으로 한 빈도를 연구지 해역별로 공간 분석하였다.

2. 적조발생지 분석

2.1 자료 구축

본 논문에서는 연구지 일대에서 매년 발생되었던 *Cochlodinium P.*의 분포 및 이동경로를 판단하고자 과거 적조 발생과정과 소멸까지의 과정에 대해 구축된 자료를 토대로 다음과 같이 GIS를 적용하였다.

도상에서 연구지 해역을 평균 300m×300m 셀로 구분한 후 적조발생지점의 평면직각좌표(x,y)와 지점별 밀도를 독취한 후 좌표와 밀도를 엑셀파일로 정리하였다. 엑셀파일에서 날짜별로 취득한 TM 좌표값을 텍스트 파일에 복사한 후, 다음 단계인 점(Point) 사상의 커버리지 생성시 Arc/Info의 GENERATE Command를 활용하기 위하여 각 지점별로 번호를 부여하였으며, 일자별로 정리된 텍스트 파일에서 점 사상의 커버리지를 자동으로 생성하기 위해 AML(Arc Macro Language)로 프로그램 하였다. 생성된 일자별 커버리지에 대해 Arc/Info의 BUILD Command를 이용하여 위상을 확립한 후 ARCSHAPE Command를

이용하여 Shape 파일로 변환하였다. 변환된 Shape 파일은 shp, shx, sbn, dbf, sbx와 같은 세부 파일로 구성되어 있으며 이 중 속성정보는 DBF 파일에 저장되어 있으므로 엑셀에서 DBF 파일을 불러온 후, 샘플링 조사된 엑셀 파일의 각 지점별 밀도필드를 복사하여 삽입하였다. 이와 같은 과정이 완료되면 각 지점별로 밀도가 포함된 데이터가 생성되며, 다시 분석을 위해 커버리지로의 재 변환을 목적으로 SHAPEARC Command를 이용하였다. 또한 날짜별로 샘플링 지점에 대한 적조발생 밀도 분포를 추정하기 위해 연구지 범위의 크기와 원 자료의 정확성 등을 고려한 결과 가장 근접한 결과를 도출 할 수 있는 IDW(Inverse Distance Weight) 보간법을 활용하였으며, 추출된 적조발생 밀도분포에서 적조주의보 발령기준인 밀도300cells/ml 이상의 값만을 추출하기 위해 Arc/Info GRID 모듈의 CON Function을 활용하였다. 최종적으로 일자별 적조밀도 발생분포 데이터를 GRID 모듈의 SUM Function을 이용하여 누적시킴으로서 연구기간 중 발생해역에 대한 빈도기준의 공간 도출이 가능하도록 자료를 구축하였다.

2.2 발생 빈도 분석

과거 연구지에서 발생된 적조는 발생과 소멸과정에서 매년 유사해역에 발생된다는 특성이 있다(김학균 등, 1999). 이로 인해 적조의 이동경로 분석에서 발생해역에 대한 빈도 분석은 중요한 의미를 갖는다. 따라서 본 연구에서 적용한 적조발생빈도를 분석하기 위한 전반적인 분석과정은 다음 그림 2와 같다.

이전 2.1 자료 구축부분에서 언급한 방법으로 구축한 밀도 300cells/ml 이상의 밀도 데이터를 이용하여 적조경보발령기준인 밀도 1,000cells/ml 이상의 적조빈도를 추출하기 위해 각각의 셀에 기초하여 하나 이상의 조건식을 수행하는 함수로서 셀을 기준으로 구하고자 하는 밀도 조건에서 결정된 수치를 CON함수를 이용하여 분석하였으

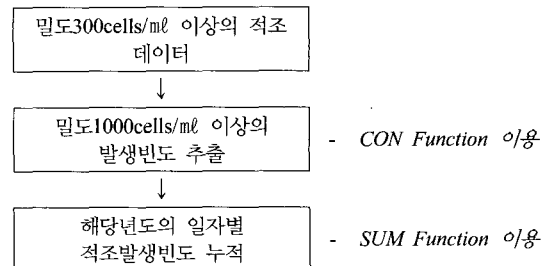


그림 2. 적조발생빈도 분석과정

며, 또한 해당연도의 일자별 적조빈도를 누적하기 위해 적조 발생기간의 범위에서 기준 밀도이상의 셀을 기반으로 하는 날짜별 결과값을 SUM함수를 적용하여 분석하였다.

1) 발생빈도 분포

적조 발생빈도의 분포를 분석하기 위해 연도별로 밀도 1,000cells/ml 이상의 셀을 추출하여 그 빈도를 공간적으로 분석하였다. 표 2는 연도별로 1,000cells/ml 이상의 발생빈도와 각 빈도별 셀 수를 나타내고 있으며 발생빈도가 가장 높은 해는 1999년으로 최대 발생회수 17회, 2개의 셀로서 총 243,520개의 셀에서 적조가 발생하였다. 가장 낮은 빈도는 1998년으로 6회, 77개의 셀로 분석되었다.

2) 발생빈도 누적에 의한 적조 발생지

빈도에 의한 최대발생지 분석은 밀도 1,000cells/ml 이상 발생된 해역을 기준으로 6년간 누적인 자료를 활용하여 그림 3과 같이 누적결과에 의한 최대발생지를 분석하였다. 그림에서 최고 빈도수의 해역은 여수연안과 남해도 남안 해역으로서 특히, 남해도 남면 일대 해역에서 최고 49회의 누적된 결과를 보인다. 그리고 여수돌산도 동안과

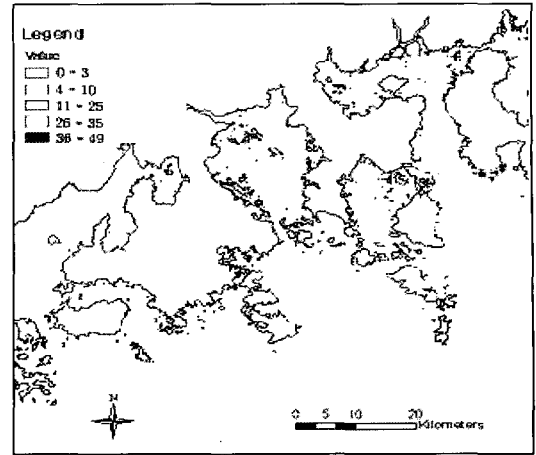


그림 3. 누적빈도 분포도(1996-2006)

개도와 금오도 구간해역, 내나로도 동안해역, 득량만의 득량도 남안 해역에서 밀도 1,000cells/ml 이상으로 발생된 적조의 회 수가 많았음을 알 수 있었고 돌산도 동안인근에서 최대 빈도 35에서 11까지 다양하게 발생됨을 알 수 있었다. 이와 같은 결과를 근거로 각 연구지에 대한 해역의 발생빈도를 기준으로 최대발생지를 판단할 수 있다고 본다.

표 2. 발생빈도별 셀 수(밀도 $\geq 1,000$ Cells/ml)

연도 횟수	1996	1998	2000	2002	2004	2006
0	229,009	226,931	228,390	243,520	217,013	227,230
1	3,913	5,182	3,238	5,987	5,206	7,015
2	593	1,550	914	1,752	597	1,911
3	577	638	520	659	330	223
4	325	184	196	298	178	107
5	266	87	155	276	50	63
6	172	77	219	204	33	4
7	127		169	157	9	2
8	84		148	153	4	2
9	19		88	92	2	
10	21		53	45		
11	3		32	29		
12	1		9	11		
13			8	14		
14			1	4		
15				3		
16				2		
17				2		

2.3 발생지 기준의 이동경로 분석

적조이동경로를 분석하는 것은 많은 문제점을 포함하고 있다. 즉, 실제 적조의 발생은 동시다발성의 특성과 발생해역이 동일하더라도 넓은 띠 모양을 형성함으로 관측 지점별로 각기 다른 밀도 값을 갖는 등의 원인에 의해 발생부터 소멸까지의 전체 경로를 1일 기준으로 분석한 결과 적조의 시·공간적인 범위가 산만하게 판단되었다. 따라서 적조의 이동경로를 분석함에 있어 일정한 기준을 두지 않으면 이동경로 분석이 불가능하리라 판단되었으므로 각각 3일에서 부터 5일 간격으로 분석한 결과 최적으로 이동의 구분이 가능한 기간으로 구분하였으며 다음과 같은 기준과 과정으로 진행하였다. 먼저 일자별로 정리된 300cells/ml와 1,000cells/ml 이상의 발생빈도 데이터를 준비한 후, 이동경로분석을 위한 기간을 당해 년의 적조 발생기간 중 최적으로 판단된 6개 주기 간격으로 나누어 설정하였으며 설정된 기간별로 적조발생빈도를 누적인 후, 주기별로 디스플레이 함으로서 적조이동경로를 분석하였다. 다음의 그림 4는 적조이동경로를 분석하기 위한 과정이다.

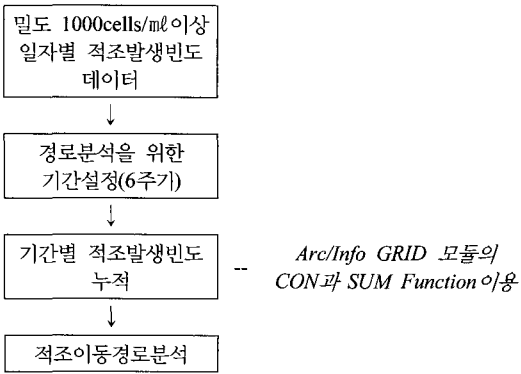


그림 4. 적조이동경로 분석과정

1) 연도별 이동경로 분석

그림 5에서 그림 10은 적조 밀도 1,000cells/ml 이상 관측 값에서 주기별 경로를 판단을 목적으로 도출된 결과로서 적조발생시 취득된 자료를 근거로 생성된 6년간의 기간별 적조이동경로도이다. 그림 5는 1996년의 주기별 발생현황도로서 발생 초 1기의 최초 고밀도 발생해역은 여수 돌산동안일대와 개도 남안일대이며 2, 3, 4, 5기 모두 남해도 남면 일대 해역에서 2기에 발생한 적조가 지속적으로 유지되었고, 6기에 동일 해역에서 자연 소멸됨을 알

수 있다. 그리고 적조가 가장 많이 넓게 발생되는 주기는 3, 4기로 판단되었다.

그림 6은 1998년 경로도이다. 최초 발생은 나로도 연안이었으며, 2기에 고흥나로도 연안에서 낮은 빈도로 유지되다 3기에 돌산권역인 금오도까지, 그리고 4기에 돌산동안까지 확산되었음을 알 수 있었다. 그리고 5기에 남해도 남면에 적조가 발생됨으로서 예년보다 늦은 시기에 이동되는 경로를 파악할 수 있으며 6기에 여수연안과 광양만 해역에서 자연 소멸됨을 알 수 있었다.

그림 7은 2000년의 분석 결과도이다. 제 1, 2기의 적조는 남해도 남면에서 발생 및 유지되다 3기에 돌산도와 나로도 인근까지 확산되었으며, 6기인 소멸기에 나로도 인근에서 자연 소멸되었다. 2000년의 적조발생과 이동 상황은 제 1기 발생기와 제 5기까지 거의 유사한 밀도와 빈도로서 적조가 발생됨을 알 수 있었다. 일반적인 적조의 상황은 제 1기에 1996년을 제외하고 일부 국지적인 해역에서 발생되었으며 제 3기와 4기에 밀도와 빈도수가 높아졌고 제 6기에 최소화됨으로서 자연 소멸됨을 알 수 있었다.

그림 8은 2002년의 분석 결과도로서, 고밀도 최초발생지는 낭도와 나로도 인근해역에서 발생되었으며 이후 급

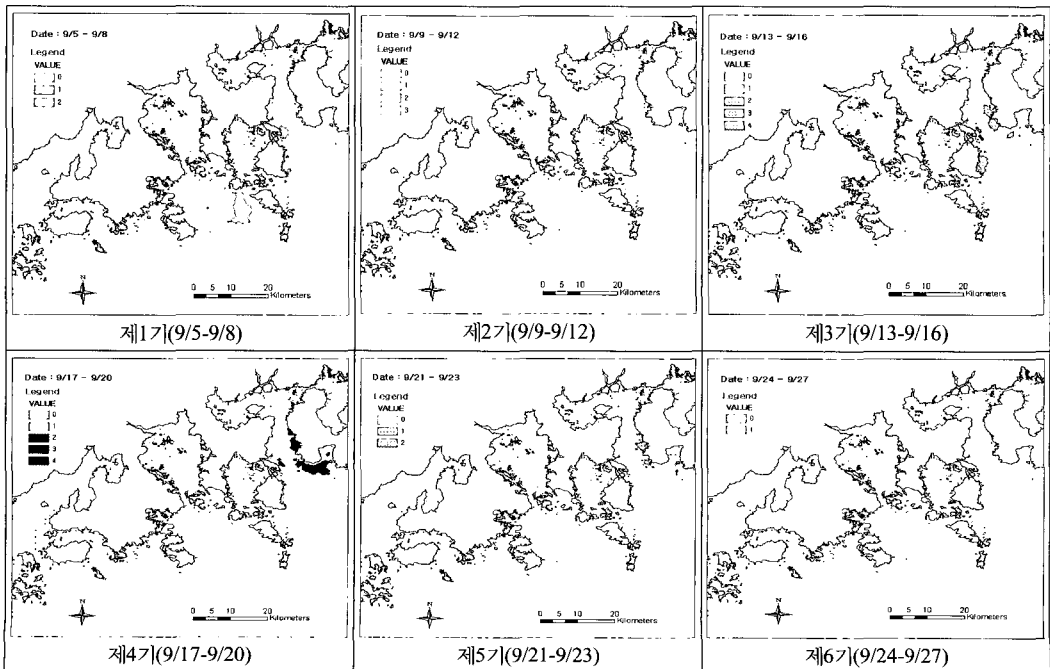


그림 5. 적조이동경로(1996년)

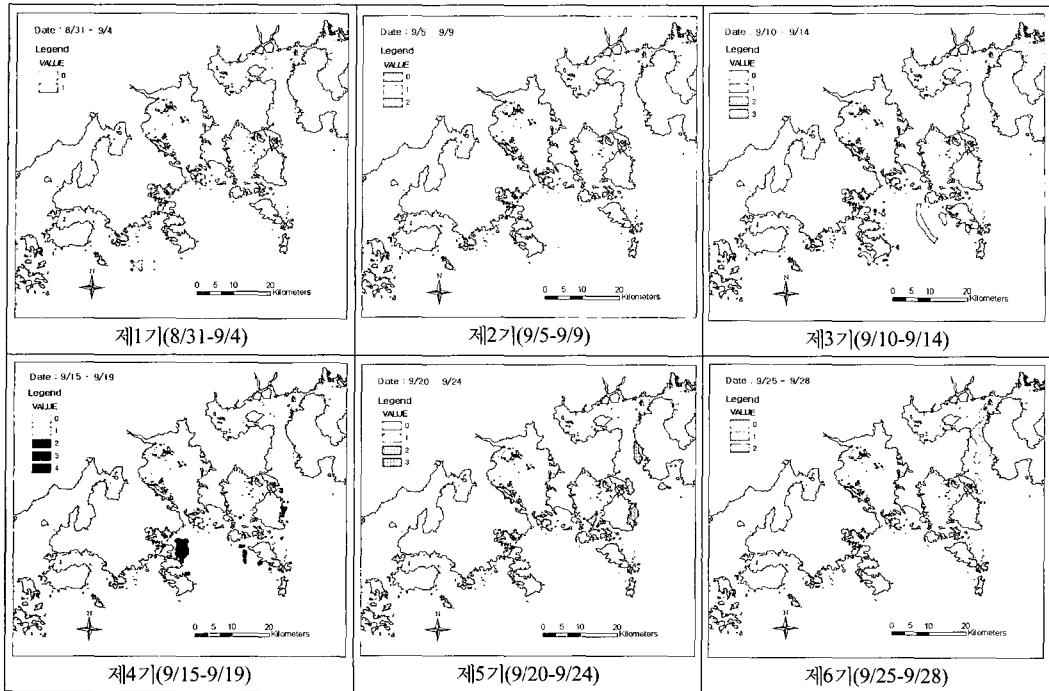


그림 6. 적조이동경로(1998년)

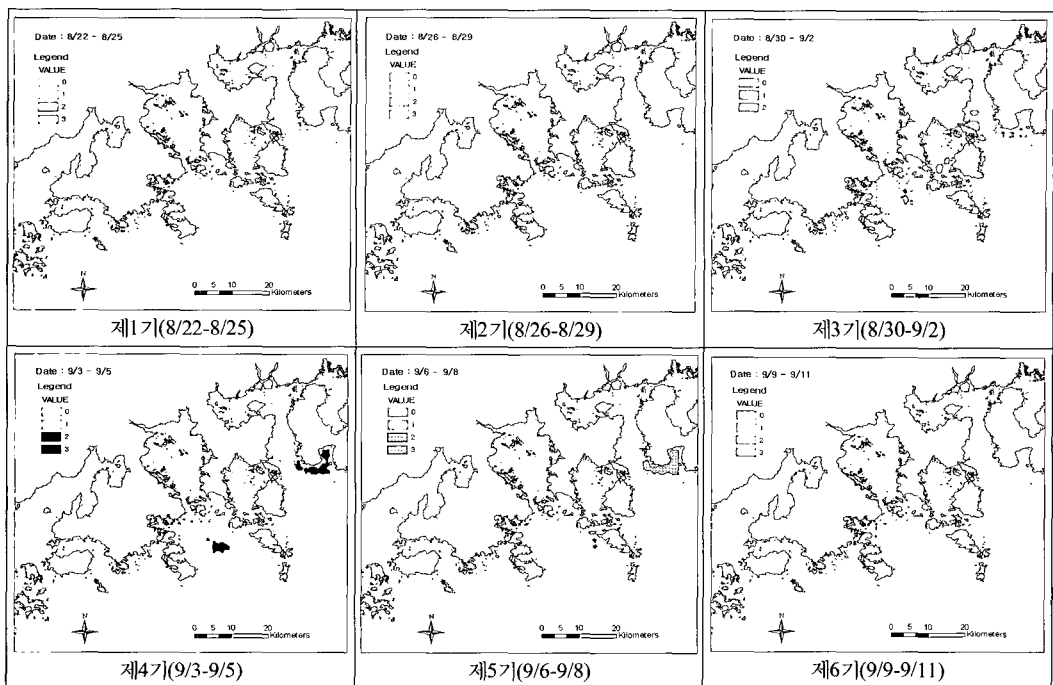


그림 7. 적조이동경로(2000년)

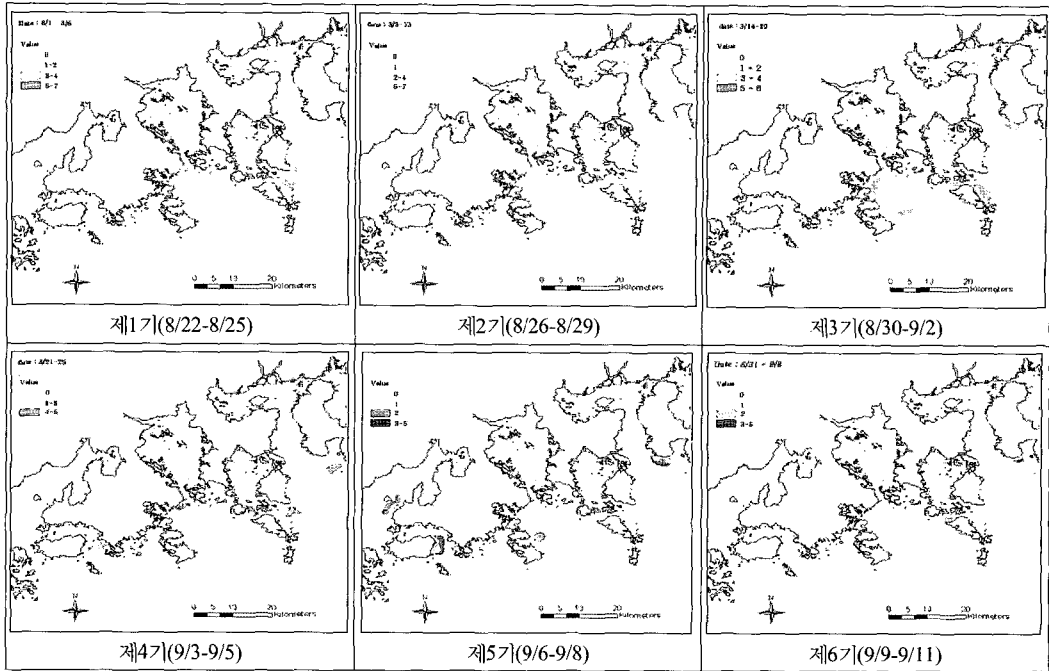


그림 8. 적조이동경로(2002년)

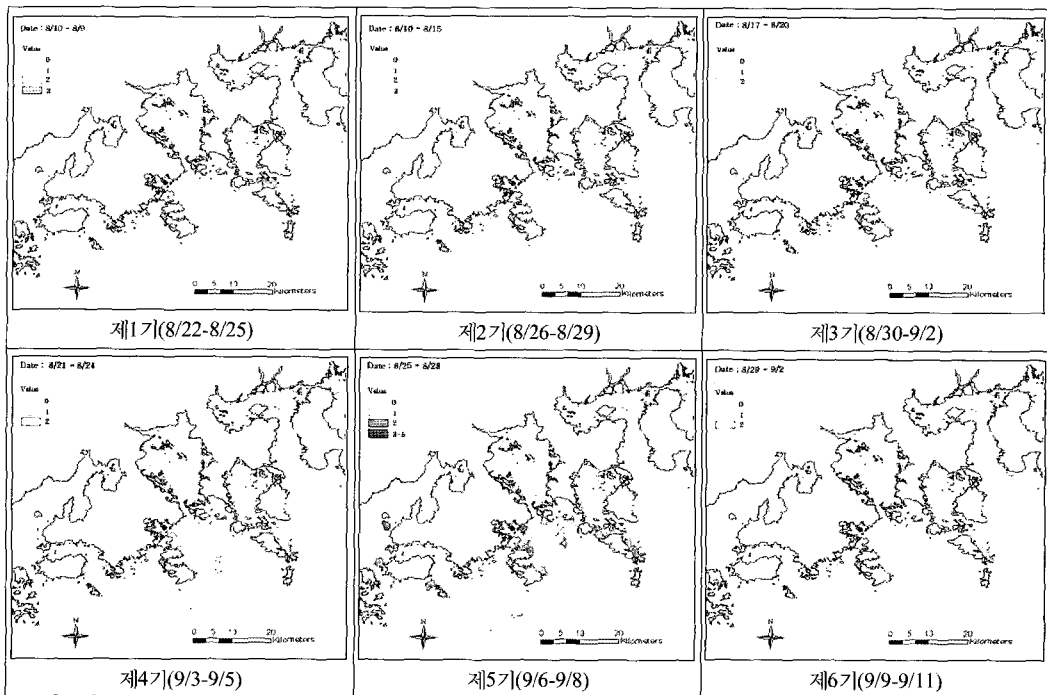


그림 9. 적조이동경로(2004년)

속도로 확산되는 결과를 보여주었다. 초기의 확산 속도는 최근의 적조발생 형태와 다르게 변화되었음을 알 수 있고 전반적으로 발생 후 중반기 이후에야 발생하는 해역으로 판단되었던 남해도인근까지 2기에 전반적으로 확대되는 결과를 보여 줌으로서 당해연도의 적조 발생범위에 대한 예견이 가능한 초기의 형태로 보여 진다. 이후 3, 4기 역시 큰 변화없이 남해도와 여천 돌산도 인근의 전 해역에 걸쳐 발생하는 특징을 보여준다. 소멸기로 분류되는 5, 6기에서의 발생 공간의 특성은 여수권 즉, 돌산도 인근에 대한 적조의 발생이 상대적으로 없었음을 알 수 있으며 6기 기간에서 돌산도 북서안 부근에서 머물던 적조가 남해도를 지나 소멸되는 일반적인 이동 성향을 보여준다.

그림 9는 2004년의 분석 결과도로 2004년은 이전의 적조 발생년도와 비교하여 기간이 약 22여일 정도로 짧았으며 제 1, 2기의 적조는 가장 일반적인 남해안 적조 발생지라 인식되는 나로도 인근 해상을 근거로 발생되었으며 초기인 1, 2기에 돌산도와 경도인근의 해역을 중심으로 나로도 인근까지 단순한 형태의 적조발생지 특성을 나타낸다. 3, 4기의 적조 발생은 나로도도와 돌산도사이의 해역에서 고르게 분포하는 고밀도 적조 특성을 보인다. 소멸기인 5, 6기에도 초기의 나로도도와 돌산도해역의 범위에서

분포하던 적조가 소멸기의 6기까지 돌산도와 남해도 인근의 해역에서 분포되는 특성으로서 소멸되는 9월 3일 까지 인근의 해역에 넓게 분포하거나 소멸기에 남해 먼 바다인 소거문도와 광도해역에 적조가 발생하는 등 넓은 공간의 발생 특성에서 급속하게 남해도 동안으로 이동하는 특이한 소멸기를 보여준다.

그림 10은 2006년의 분석 결과도이다. 2006년은 8월 10일경부터 27일까지의 발생기간으로서 2004년의 22여 일보다 짧은 17일 정도의 발생기간으로 발생지 혹은 그 범위가 최소 되는 해이다. 실제 발생기인 1, 2기의 적조는 초기 발생지인 나로도도와 돌산도 인근과 남해도까지 발생하는 내용으로서 상대적으로 범위와 빈도는 적지만 공간의 특성은 2002년의 초기 발생기와 유사하게 진행됨을 알 수 있다. 확산기인 3, 4기에는 나로도인근 해역을 벗어난 돌산도와 남해도 인근으로 이동되는 특성으로서 기존 적조의 이동특성을 보여준다. 5, 6기인 소멸기에는 남해도 인근의 고밀도 적조군의 발달을 볼 수 있으며 맞은편 돌산도와 인근에 소멸시기까지 적조가 발생함을 알 수 있었다.

2006년 적조발생지에 대한 특이사항은 오동도 인근에 근접하여 3, 4기와 소멸기에 적조가 발생됨을 알 수 있었다.

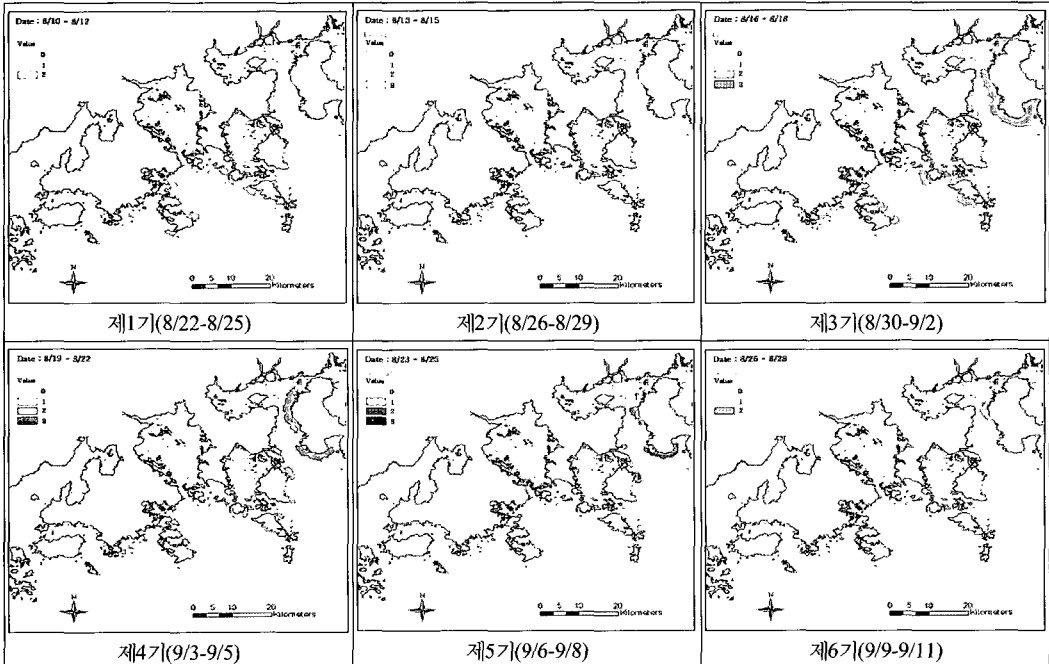


그림 10. 적조이동경로(2006년)

2) 적조의 주기별 이동 경로

적조의 이동경로는 발생지점에서 측정된 밀도의 기준에 의해 달라진다. 실제 적조의 발생과 소멸까지의 과정은 공간상에서 단순히 발생하고 소멸되는 이동경로의 의미가 아닌 동시·다발적인 특성에 의해 적조의 경로판단은 많은 어려움이 따른다. 따라서 본 연구에서는 발생하는 밀도를 1,000cells/ml 이상으로 제한하여 매년 발생하는 주기를 분석하였다. 실제분석에서 매년 적조발생기를 6주기로 나누어 날짜를 구획하였으며, 각 주기별로 6년간의 데이터를 누적함으로써 주기에 따라 누적된 발생빈도를 파악할 수 있었다.

제 1, 2기는 적조가 밀도 1,000cells/ml 이상으로 발생된 초기로서 발생기로 구분하였으며 3, 4기는 발생이후 인접해안으로 확산되는 확산기로 그리고 5, 6기는 발생하는 공간범위가 확대되었다가 소멸되는 소멸기로 각각 구분하였다.

그림 11에서 발생기의 적조는 여수연안인 돌산도 동안과 남해도 남면 일대에서 빈도 6정도로 발생되었으며, 광양만과 득량, 가막, 여자만을 제외하고 도서와 근접한 해역에서 넓게 발생됨을 알 수 있었다. 특히 매년 유해적조의 최초발생지로 판단된 나로도와 금오도 일원에서도 고

밀도의 적조가 발생되었음을 알 수 있었다. 2, 3기에는 남해도 남면 일대에 군집형태의 적조 군이 형성됨을 알 수 있었고, 실제 3기에는 나로도 일원까지 확산되었다. 4기와 5기는 적조가 최대 확산되는 기간으로서 여수연안과 남해도 남안 일대를 포함하여 나로도 인근 해역과 득량만 해역까지 확산 발생되었으며, 득량만과 광양만을 제외한 연구지 일대 전 연안해역에서 적조가 발생되었음을 알 수 있었다. 소멸기인 6기에는 주로 남해도 남면 일원과 내나로도 동안에서 소멸되었다. 따라서 발생기에는 밀도 1,000cells/ml 이상의 적조가 내륙연안 해역을 제외한 전 해역에서 발생됨을 알 수 있었으며, 확산기에는 남해도와 돌산도 구간을 중심으로 한 금오도연안까지와 나로도 일대와 득량만까지 연구지의 서쪽연안으로 진행되었으며, 소멸기에는 남해도 남면과 나로도 동안 일대 해역에서 소멸되는 적조의 경로를 판단할 수 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 최근 다양한 분야에서 적용되는 GIS를 이용 적조의 발생에서 부터 소멸까지의 공간 특성을 판단하고자 1996부터 2006년까지 발생한 자료 중 분석이 가

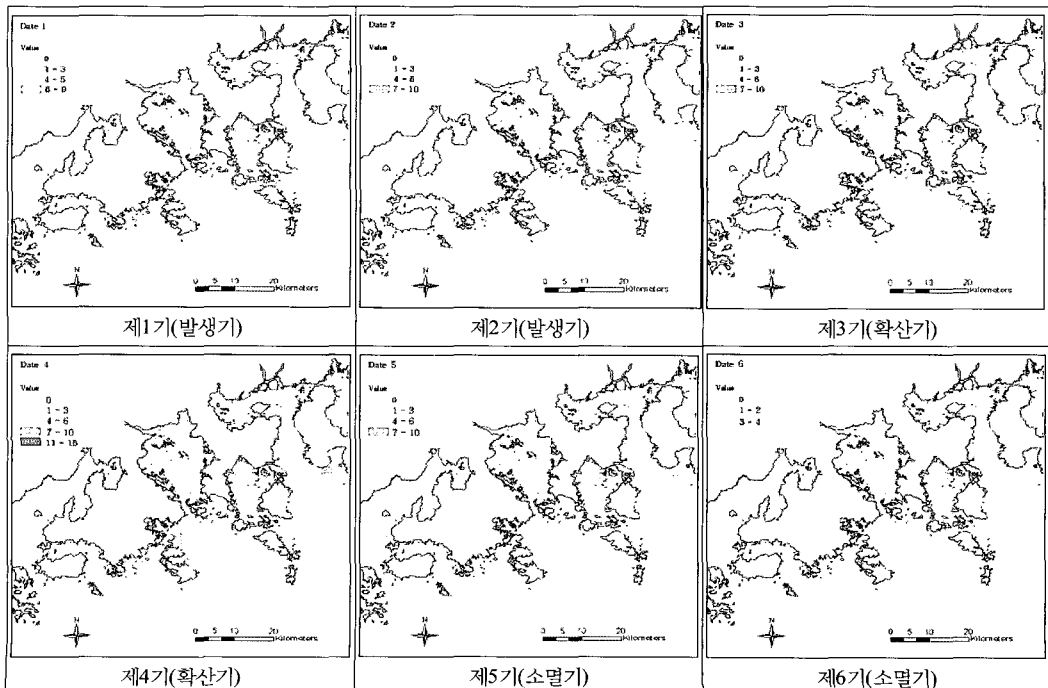


그림 11. 적조의 주기별 이동특성(1996-2006년)

능한 6년간의 자료를 기준으로 적조 일정별 보고서 및 1일 현장보고 내용 등을 근거로 일정한 격자의 구분 및 좌표화를 통해 적조의 발생지에 대한 공간을 파악함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 기존 적조 발생지에 대한 자료를 이용 수치지도형을 근거로 연구지 해역을 셀로 격자화 함으로서 좌표를 독취 할 수 있었으며 이를 근거로 GIS기법을 적용 각각의 공간에 대한 밀도별 적조의 발생 빈도를 파악 할 수 있었다.

둘째, 밀도1,000cells/ml이상의 적조에 대하여 발생주기별 발생연안의 공간위치 및 이동에 대해 GIS를 이용하여 분석한 결과 초기에는 남해도 해역을 제외한 나로도와 여수 돌산도인근 해역에서 고루 발생됨을 알았으며, 확산기에는 남해도와 돌산도 구간을 중심으로 남해안 일대 전 해역에서 확산 진행되었으며, 소멸기에는 주로 남해도 남면과 나로도 동안 일대 해역에서 소멸됨을 알 수 있었다.

셋째, 적조발생지의 누적빈도를 GIS(셀크기 300*300M)로 적용하여 분석한 결과 최대 빈도 발생해역 모두 남해도 남면 일대 해역으로서 최대 누적빈도는 49회임을 알 수 있었다.

넷째, 현재까지 적조의 공간 파악을 위한 연구에서 기존 자료를 이용한 공간위치의 결정방법으로 기존 도면을 이용하여 좌표독취방식의 공간을 결정하였으나 이는 실제 적조 조사담당자가 발생지를 도면에 이기하는 과정의 오차와 연구과정 중 발생지 공간위치를 독취하는 과정에서 각각의 위치에 대한 오차가 발생한다고 가정하여 실제의 연구에서는 다소의 오차가 함유된다고 판단된다. 이를 해소하기 위한 방안으로 선박과 항공기의 예찰시 GPS의 적절한 사용과 공간위치결정이 가능한 사진측량시스템을 이용할 경우 더욱 정확한 발생지를 결정 할 수 있음으로 연구의 신뢰도가 높아진다고 보며 이는 결국 적조의 발생

에 대한 피해를 사전에 최소화 할 수 있는 대안의 수립이 가능하리라 본다.

참고문헌

- 경상대학교 (1999), 적조의 과학, 경상대학교 출판부, pp. 222-289.
- 국립수산진흥원 (2000), 1995~1999 한국연안의 적조발생상황, pp. 27-130.
- 국립수산진흥원 (1997), 한국연안의 적조, pp. 1-9.
- 권철휘 (2002), 한국 남해안의 *Cochlodinium* 적조확산 모델링 응용연구, 박사학위 논문, 부경대학교, pp. 31-42.
- 김삼혁 외 4 (2000), 적조생물 *Amphidinium* Carterae의 사멸에 미치는 자외선의 영향, 한국환경과학회지, 제9권, 제6호, pp. 463-468.
- 김성재 (2000), 적조생물의 구제: 2. 황토에 의한 적조생물의 응집제거, 대한수산학회지, 제33권, 제5호, pp. 455-462.
- 김학균, 외 6 (1999), 나로도 인근해역에서 *Cochlodinium* *Polykrikoides* 적조의 최초발생과 환경특성, 수진연구보고서, 제57권, pp. 119-129.
- 여수시 (2006), 제3회 여수통계연보, p. 18.
- 유복모 (1994), 지형공간정보론, 동명사, pp. 350-359.
- 이영식, 박종수 외 5 (2002), 여수 돌산도 동부연안해역에서 담수유입에 의한 구조적 적조 발생, 대한환경과학회지, 제24권 제3호, pp. 477-488.
- 정창수, 최우정 외 4 (1999), 1998년도 남해도 인근수역의 *Cochlodinium* *Polykrikoides* 적조발생과 동물성플랑크톤의 분포특성, 수진연구보고서, 제57권, pp. 153-161.
- 정해진 (2002), 우리나라 적조 연구 현황 및 향후 연구 방향, 해양학회주제발표집.
- 최현용 (2001), 한국 남해 나로도와 소리도 사이 해역의 1998년 하계 해양 및 적조소멸과의 관계, 바다, 제6권, 제2호, pp. 49-62.
- 해양수산부 (1999), 적조피해대책연구, pp. 38-164.
- Jin-Gi Kim, Hyeong-sub Jeon (2004), Analysis of the Spatial Characteristics of Summer Pollutions at Coastal Areas Using GIS, *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 8, No. 5, pp. 561-567.
- 岡市反利 (1987), 赤潮の 科學, 恒星社厚生各, pp. 18-288.

(접수일 2007. 5. 30, 심사일 2007. 6. 11, 심사완료일 2007. 6. 26)