

연구논문

## GSIS를 이용한 적조발생지의 공간결정 연구

# A Study on the Spatial Determination of Red Tide Occurrence Area Using GSIS

김진기\*

Kim, Jin Gi

### 要 旨

기존 유해성 적조의 발생해역에 대한 공간결정 연구는 미비하였으며, 적조발생지와 소멸지에 대한 공간을 정확하게 판단하기 어려웠다. 따라서 좀 더 객관적이며, 과학적인 방법으로서 적조의 발생과 이동에 따른 시·공간적인 방법으로서의 분석 필요성이 대두 되고 있다. 본 연구에서는 매년 발생하는 유해성 적조 발생지에 대한 공간을 파악하기위해 수치지형도를 이용한 GSIS기법을 적용 해안선을 추출하였으며, 수년간 발생된 적조발생 자료를 근거로 발생지의 공간위치를 결정하여 분석한 결과 연구지 중 여자만 일대에서는 적조의 발생이 거의 없었음을 알 수 있었고 남해 돌산도와 남해도 양강만 해역일대에서 최고의 발생빈도를 나타냄을 알 수 있었다. 이를 근거로 매년 반복적으로 발생하는 해역에 대한 적조의 분포상황을 시공간적으로 판단하여 이동경로 해역의 예측과 피해의 사전예방이 가능 하리라 판단된다.

**핵심용어** : 적조, 수치지형도, 지형공간정보시스템, 적조발생지

### Abstract

Few researches related to the spatial determination of areas where red tide occurs have been performed, so accurately determining the area where red tide occurs and disappears poses difficulties. Therefore, a more objective and scientific method is necessary to analyze the occurrence and movement of red tide based on a geo-spatial information system. In this study, the coastline was extracted using a digital topographic map in order to examine areas where red tide occurs each year. An analysis of red tide occurrence areas, which were determined based on red tide data for the last several years, showed that only Yeoja bay had almost a zero case of red tide of the areas studied, whereas Dolsando in the South Sea and NamHaedo Aenggang bay areas exhibited the highest frequency of red tide occurrences. Based on these results, by using a system that determines the geo-spatial distribution status of areas repeatedly hit by red tide every year, it would be possible to predict the course of red tide and prevent consequent damages.

**Keywords** : Red tide, Digital map, Geo-spatial information system, Red tide occurrence Area

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

적조란 해양에 서식하는 동·식물성 플랑크톤 등의 미생물이 일시에 다량으로 증식되어 바닷물의 색깔을 변색시키고 해양생물에게 나쁜 영향을 미치는 해양오염현상으로서(국립수산진흥원, 1997; 岡市反利, 1987), 1980년대 이후부터 매년 일정한 기간에 걸쳐 국내 남해안 일대에서 발생하였으며 이로 인하여 남해연안 어민들에게 많은 피해를 주고 있다.

그러나 현재까지 적조에 관한 전반적인 연구방향인 생화학적 적조원인을 규명함으로써 지리학적인 적조의 발생원인과 분포 그리고 그 이동양상을 규명하기 위한 연구는 미약함으로 적조의 공간적 분포를 과학적이고 합리적으로 파악할 수 있는 방법의 연구가 요구되고 있다 (국립수산진흥원, 2000; 최현용, 2001).

본 연구의 최종 목적으로 GSIS를 이용하여 1996년부터 2006년까지 남해연안에서 발생된 적조 발생해역의 관측자료 등을 적용 적조의 발생과 이동, 소멸지에 대한 공간을 결정한 후 기존의 연구에서 도출된 적조의 원인

2007년 4월 25일 접수, 2007년 5월 30일 채택

\* 정희원·한영대학 토목환경과 교수 (gsis4222@empal.com)

자를 기준으로 발생지 공간과의 중첩 분석을 통해 적조 발생에서부터 소멸까지의 원인 등을 일정한 공간을 기준하여 분석하고자 하였다. 이와 같은 적조의 발생 원인과 공간의 결정은 이후 발생하는 적조에 합리적인 대처 방안에 기여할 수 있다고 판단된다. 그러나 방대한 자료와 기존 발생지 자료를 이용한 공간 위치의 결정 등에 대한 검증된 자료의 한계로 인해 금번 연구에서는 1996년부터 2000년까지의 자료를 이용 적조의 발생과 소멸 특성을 해석하고 실제 적조가 발생된 해역에서 발생빈도를 기준으로 최대발생지와 이동에 따른 특성을 파악하였다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구에서 적용한 공간적 범위는 그림 1과 같이 동경 약 127°~128°, 북위 34°15'~35°15'에 해당하는 지역이다. 이 지역은 유해적조인 *Cochlodinium P.*가 매년 반복적으로 발생하는 해역으로서 여수시를 중심으로 동측으로 남해도, 서측으로 고흥반도를 끼고 있는 천혜의 수산 및 관광보호지이다.

본 연구에서는 적조 발생지 일대의 수온과 염분 등의 변화 및 기상요인 등에 대한 자료 등을 근거로 발생 및 소멸기의 특성을 해석하였으며, GIS를 적용하여 기 발생된 유해적조의 현황도와 보고서를 토대로 취득한 적조 발생지의 위치를 X, Y좌표로서 독취하여 기본도로 사용한 1/25,000 수치지형도에 공간별로 관측된 자료를 근거로 발생일자 순서로 중첩시킨 후 적조발생빈도가 높은 정점을 연결하여 적조 발생해역을 판단하였다.

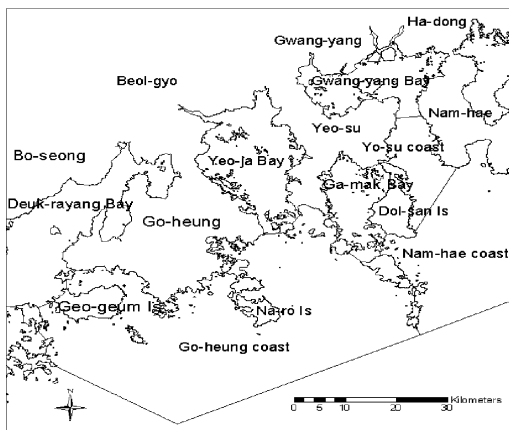


그림 1. 연구지 현황

2. 본 론

2.1 GIS를 이용한 적조발생지 분석

국내에서 실행된 적조관련 연구는 대부분 적조의 생, 학적인 현상과 적조의 발생과 소멸에 따른 물리적인 현상 연구에 중점을 두어 실행되어 왔다(해양수산부, 1999). 최근 발생하는 적조의 특성은 과거와 달리 조기발생과 조기소멸의 특성을 갖고 있어 적조 해석에서 적조의 이동 경로에 대한 연구의 필요성이 더해지고 있다(김진기, 2002). 따라서 본 연구에서는 최근 환경분야 등 사회 모든 분야에서 일반적으로 적용하는 GIS를 도입하여 적조 오염지를 그림 2와 같은 방법으로 분석하였다.

과거 적조해석 등의 관련 연구에서 GIS를 적용한 연구사례가 거의 없어 적조이동경로분석에 GIS를 적용함은 많은 문제점과 시행착오가 따를 것이라 판단되나, 본 논문에서는 연구지 일대에서 매년 발생되었던 유해적조 *Cochlodinium P.*의 발생지 및 이동특성을 판단하고자 과거 적조 발생과정과 소멸까지의 과정에 대해 구축된 자료를 토대로 데이터베이스화하여 GIS를 운용하였다. 적조발생경로와 분포해석을 위하여 먼저 경로와 분포를 도면에 표현하기 위하여 구입한 1/25,000 수치지형도로부터 해안선을 추출하여 폴리곤으로 작성한 후 700×700m 격자 크기로 그리드로 변환하였으며, 도면과 동일한 격자크기의 폴리곤 커버리지를 생성하여 각 연도별 적조발생자료 중 실제 어류에 피해를 입힐 수준인 800cells/ml 이상의 밀도로 발생된 지점을 격자별로 독취한 좌표를 기준으로 중첩시켜 각 격자에서 중첩된 발생횟수를 Avenue로 작성된 프로그램을 이용하여 분석 계산하였다. 이때 각 연도

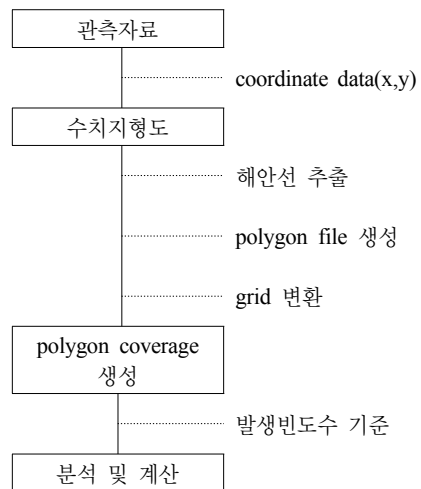


그림 2. 분석 과정

별로 산정된 커버리지를 기본도면과 동일한 크기의 격자로 변환하여 연도별 발생횟수에 대한 그리드를 중첩하여 1996년부터 2000년까지 5년간의 경로를 발생 빈도수를 기준으로 분석하였다.

2.2 적조발생과 소멸 특성

2.2.1 발생특성

1995년부터 남해 나로도 일대에서 최초 발생하기 시작한 *Cochlodinium P.* 적조는 2000년까지 매년 유사해역에서 연속 발생되었다. 일반적으로 적조의 발생과 소멸의 특성을 파악하기 위하여 기존의 많은 연구에서 해수의 수온과 염분 등의 내부인자와 강우 및 태풍 등의 외부 기상인자를 근거로 발생과 소멸의 원인자를 해석하였다(최현용, 2001; 국립수산진흥원, 2000). 이를 근거로 본 연구에서 연구기간 중 적조발생해역에서 기 관측된 해수의 수온 및 염분 관측자료를 해석한 결과 그림 3~4에서와 같이 최초 발생당시 수온은 약 25.5°C, 염분은 약 32‰ 정도로서 매년 관측된 값 역시 유사한 분포를 갖는다.

유해적조의 최초발생해역인 고흥군 나로도 해역과 여수시 소리도 해역은 북서방향으로 득량만과 여자만, 그리고 광양만의 반 폐쇄성해역과 제주도 연안해역과의 중심부근에 위치한다. 특히 이 해역은 내륙수의 유입원인 섬진강과 여자만 상류부인 순천에서의 대규모 강수 유입이 존재하는 해역이며, 하계에는 중국 양자강에서 희석수로 판단되는 저염분의 해류 진입 그리고 진도와 동해 냉수대와 대마난류 세력대와의 수온전선대가 형성되어 적절한 수온대와 표·저층수의 혼합이 가능해 짐으로서 저층 영양염의 표층공급 등의 원인으로 남해일원 중 가장 먼저 형성되는 해역으로서 유해적조가 발생하는 하계에 해저생태환경에 많은 변화를 줄 수 있는 해역이다(이영식 외, 1999).

2.2.2 소멸특성

적조의 소멸은 일반적으로 수온의 저하와 기상 등 환경 변화에 의한다(김학균 외, 1999). 그림 3에서와 같이 유해 적조발생기의 수온은 25~26°C의 고수온기에 주로 발생 하지만 소멸시기의 수온은 2000년과 1999년에는 22.3°C에 그 외에는 23.5°C 경에 소멸됨으로서 발생기보다 약 2.5°C 낮아졌다. 염분의 변화는 그림 4에서 유해적조 2000년 발생일인 8월 21일 32.8‰에서 소멸일인 9월 10일 28.6‰로 약 4.2‰가 낮아진다. 또한 적조발생시 염분의 표·저층이 성층구조에서 소멸기에는 저염분 상태로 성층구조가 소멸되어 혼합층 구조로 변화됨을 알 수 있다(최현용, 2001). 이러한 변화의 원인은 남해 외 해역으로부터 유입된 저염수와 냉수대의 영향, 그리고 9월초에 상시적으로 발생

하는 태풍의 영향으로 태풍 진행경로에 있어 국내 연안 해역 중 가장 먼저 영향권에 도달하게 되는 연구지 일대 외양수의 조기유입과 강한 바람에 의한 적조 Bloom의 파괴에 따른 원인으로 파악된다. 그리고 강우량이 적조의 소멸에 미치는 영향으로 해수의 저염수를 들 수 있다. 실제 연구지에서 그림 5와 같이 1996년부터 2000년까지 태풍 등의 영향으로 년 중 강우가 집중되는 8, 9월 총 강우량 8,074mm 중 적조 소멸기 전 후 7일을 기준한 집중강우량이 4,408mm로서 8,9월 강우량의 55%가 적조 소멸일을 기준하여 전, 후에 집중되었다.

풍속은 적조의 발생기와 소멸기에 발생하는 태풍과 관

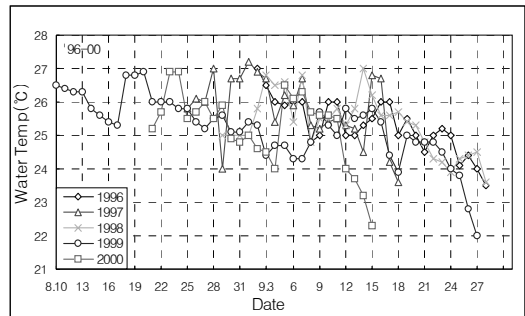


그림 3. 적조발생 및 소멸기의 수온특성

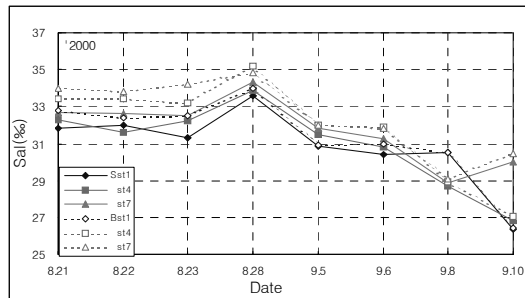


그림 4. 적조발생기 및 소멸기의 염분 특성

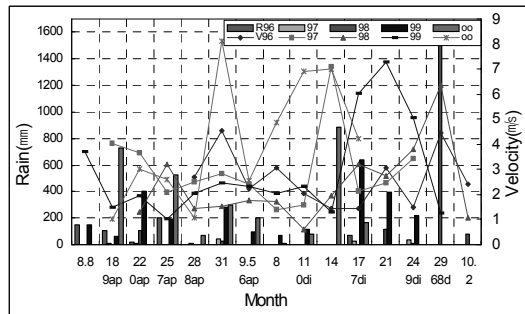


그림 5. 발생 및 소멸기의 강우와 풍속 특성

련하여 유해적조와 밀접한 관계가 있으며 소멸기에 강한 바람을 동반한 태풍은 기존 적조류의 이동환경을 변화시키는 가장 큰 원인으로 판단된다. 1996년부터 2000년까지의 소멸일을 기준으로 3일간 관측된 풍속의 합은 약 8.2m/sec로서 적조 소멸기에 연구지 일대에서 집중적으로 관측되었다. 이러한 빠른 풍속과 강우를 동반한 태풍은 적조가 발생한 해역수층 구조에 변화를 주며 적조 bloom의 분산효과와 수온 저하에 영향을 미침으로서 기존 적조류의 적응해수와 다른 외해수의 유입에 의한 수질의 변화가 적조의 소멸에 영향을 미친다고 볼 수 있다.

**2.3 적조발생 현황**

현재 국내 적조 발생해역에 대한 예찰 및 관리는 국립수산물과학원과 각 지방자치단체의 해양관련 부서에서 육상예찰과 선박을 주로 이용하여 실시하고 있으며 필요시 항공기에 의한 현장 확인절차도 병행하고 있다. 적조발생지 해석은 현장에서의 시료채취 후 채취된 조류의 개체수 검증을 통해 각종 공문서 등을 이용하여 각 이용기관에 발생 해역과 밀도를 공개함으로써 적조방제에 대한 조치가 이행되며, 특히 유해적조 밀도 300cells/ml 이상의 해역에서는 적조 주의보를 발효함으로써 이후 적조의 확산 등을 대비한 현장에서의 관리 및 대처방법을 결정하고 있다.

그림 6은 1996년 9월 4일 고흥군 내나로도 상부에서 최초 발생한 후 9월 29일 남해도 남안에서 소멸한 *Cochlodinium* p-종의 1996년 여수권해역의 적조발생 해역을 나타낸 것으로 나로도 일원에서 발생한 후 여수연안과 남해도일대까지 확산되는 경로를 판단 할 수 있으며, 연구지의 정점별 적조발생빈도 분석결과 밀도 800 cells/ml 이상 적조의 발생빈도 값이 없는 연안해역은 광양만과 여자만이었으며 발생빈도 7회 정도로 상승적으로

발생되는 해역은 남해도 남면 일대의 연안해역과 여수연안의 옹동도와 신항 일원 그리고 돌산 방죽포연안과 득량만 연안해역에서 발생됨을 알 수 있다. 또한 유해적조의 연속 발생 우려가 있는 해역으로 위 기준 밀도의 발생 빈도수가 높은 해역을 포함하여 여수연안에서는 돌산 굴전과 울림해역간 그리고 가막만에서는 대경도 남안 일대, 남해도남안에서는 앵강만일원과 금오도 상부연안, 고흥연안에서는 내나로도 동안일대와 여자만 입구인 남얹과 낭도일원에서 빈도 5회 정도로서 상승 발생가능성이 있는 해역으로 판단된다. 또한 득량만에서는 일반적으로 득량도와 소록도간 해역에서 주로 발생하였으며 특히 고흥반도의 도덕면 일원에서 발생빈도가 높았다.

그림 7은 1997년에 발생되었던 빈도분석결과에 의한 밀도 800cells/ml 이상 적조발생 해역도이다. 그림에서 1997년 8월 25일 외나로도 연안에서 발생된 후, 수일 내에 연구지 일대로 급속하게 확산되었다. 1997년의 발생 현황은 예년과 달리 고흥반도와 완도권 일대인 거금수도 연안에 적조가 지속적으로 발생되었으며 여자만과 광양만을 제외한 전 해역에 걸쳐 분포되었음을 알 수 있다. 분석결과 발생빈도 8회 이상의 상승 발생해역은 남해도 남면일대와 앵강만 남안해역 그리고 돌산 울림 인근해역과 금오도 함구미 연안 등에서 발생되었으며 득량만의 득량도와 장예 연안해역에 걸쳐 적조가 다발했던 것으로 분석되었다. 그리고 빈도 6회 정도의 다발 우려해역으로 상승발생해역을 포함하여 고흥연안과 남해도남안 일대에서 금오도와 횡간도 연안해역 그리고 외나로도 동안 일대해역이 적조 다발 우려해역으로 판단되었다. 이와 같은 결과로 인해 1997년 적조발생 빈도에 따른 적조의 주 이동 경로는 외나로도 동안에서 발생한 적조는 득량만 입구인 도양을 해역으로 향하는 서해안 방향의 경로와 금오도 상부연안과 돌산도 울림해역을 거쳐 여수신항

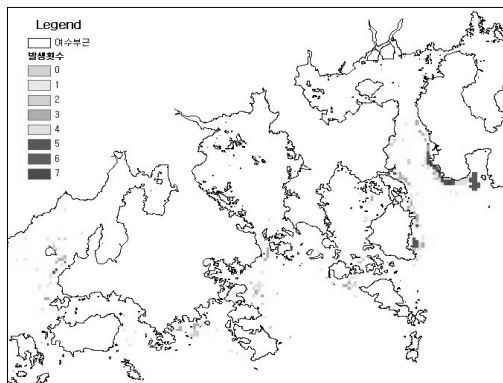


그림 6. 1996년 적조발생해역

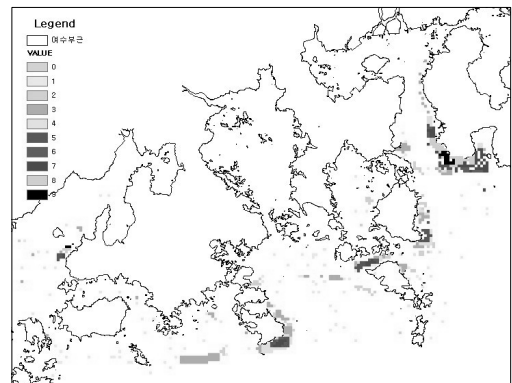


그림 7. 1997년 적조발생해역

일원과 남해도 남면일대와 앵강만을 거치는 동해형 경로를 판단 할 수 있다.

그림 8은 1998년 8월 30일 고흥연안의 외나로도 하반 해역에서 최초 발생한 후 9월 28일 광양만과 여수연안에서 소멸하기까지의 *Cochlodinium P.* 종의 여수권해역의 밀도 800cells/ml 이상 적조발생 해역을 나타낸 그림이다. 분석결과, 1998년의 적조발생특성은 예년에 적조발생이 적었던 광양만에서 빈도 3의 적조가 발생됨으로서 차후 광양만에서의 적조발생가능성을 판단 할 수 있으며 1996, 1997년과 달리 득량만과 남해도 연안에서 적조발생빈도 4회 로서 상대적으로 낮게 분석되었다. 연구지 중 발생빈도 7이상의 상습발생해역으로 여수연안에서는 돌산도 방죽포연안, 고흥연안에서는 내나로도 와 외나로도의 덕홍과 하반해역, 그리고 빈도 5회의 다발 우려해역으로 금오도 함구미 연안과 남해도 앵강만 일원 등으로 판단되었다. 빈도분석에 의한 1998년 적조이동경로는 외나로도를 발생기점으로 고흥연안과 여수연안, 광양만에 이르는 동해안 방향의 경로와 외나로도를 기점으로 서해안 방향의 이동성향으로 분석되었다.

그림 9는 1999년 분석결과에 의한 연구지해역의 적조 발생 해역도로서 1997, 1998년과 동일한 해역인 고흥 외나로도 하반 해역에서 8월 10일 최초 발생한 후 9월 26일 소멸되기까지의 경로를 나타내었다. 적조발생해역 중 최고 누적 빈도수 10회로 해석된 연구지로 남해도남안과 여수연안에서는 남해 남면해역, 금오도 함구미와 횡간도 구간의 해역이, 고흥연안에서는 내나로도 덕홍연안, 득량만에서는 도덕면 연안해역 등에서 발생됨을 알 수 있다. 발생빈도 8회 이상의 우려해역으로 돌산도 동안일대와 금오도 서안일대 그리고 나로도 주변해역으로 판단되며, 광양만과 여자만에서의 적조발생은 거의 없었으며 가막만은 하부연안에서 일부 발생된 결과를 나타낸다.

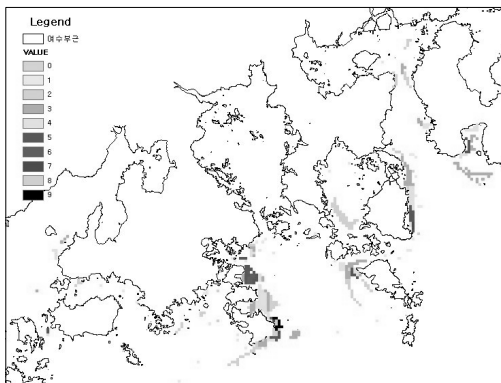


그림 8. 1998년 적조발생해역

그림 10은 2000년 분석결과로 8월 중순에 나로도를 발생기점으로 9월 11일 나로도 덕홍연안에서 남해도 인근에서 소멸되기까지의 분포 해역을 나타내었다. 2000년의 적조발생과 관련된 특이 상황은 득량만과 거금수도 해상의 적조발생빈도가 예년과 달리 적었으며, 전반적으로 나로도를 중심으로 완도구간의 서해안 방향의 적조발생이 거의 없었다. 발생지 중 최대 빈도 17회 이상을 나타낸 연안은 남해도 남면 일원으로 나타났으며 금오도 함구미 일대는 빈도 12회, 여수 신항과 돌산상부연안에서는 빈도 10회 정도로 높은 발생빈도를 나타낸다. 그 외 다발 우려해역으로 내나로도 일대와 금오도 상부인 횡간도 연안에서 빈도 7회 정도를 나타낸다. 이를 근거로 한 2000년의 이동경로분석결과와 최초 나로도 인근의 적조가 여수연안과 남해도 연안에서 장기간 발생한 후 다시 나로도 연안으로 이동하여 소멸된 경로를 판단 할 수 있음으로 과거와는 다른 경로분석 결과임을 알 수 있다.

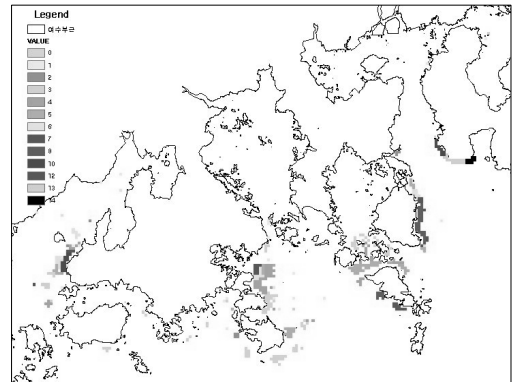


그림 9. 1999년 적조발생해역

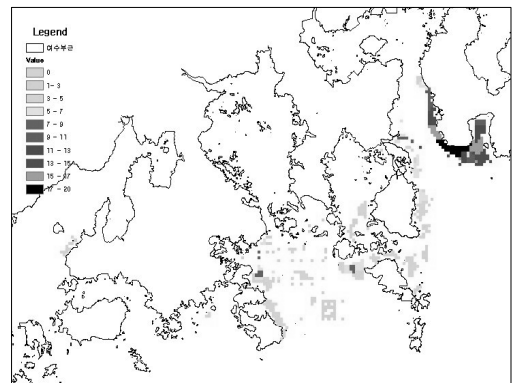


그림 10. 2000년 적조발생해역

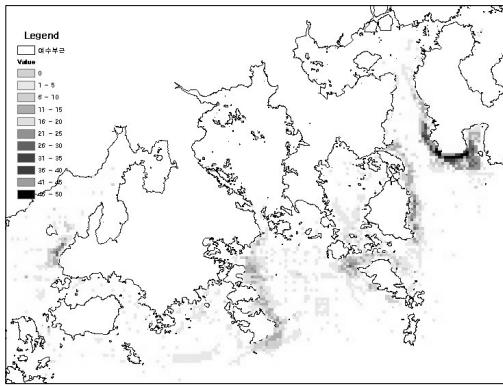


그림 11. 1996-2000 적조발생해역

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 5년간 발생지 분석

그림 11은 1996년부터 2000까지 연구지에서 발생한 적조자료를 활용하여 결정한 격자를 정점으로 발생누적값을 기준하여 도출한 분석결과도이다. 그림에서 보듯이 5년간 적조발생이 거의 없었던 연구지는 여자만 연안해역이었으며 광양만에서의 발생 빈도는 1998년 발생한 현황이 주를 이룸으로서 여자만과 같이 적조발생우려가 거의 없는 해역으로 판단된다. 그리고 매년 최대의 빈도를 나타낸 곳 중 남해도 남면일대 연안이 1998년을 제외하고 최고의 빈도를 나타내고 득량만 입구인 신흥과 장예구간의 해역과 금오도 함구미 일대의 연안해역에서 3년간 최고빈도수를 보여줌으로서 상습적인 적조발생해역으로 구분되어진다. 그 외 나로도 동안일대와 돌산 동안, 남해도 앵강만 일대해역과 금오도 상부 연안해역 및 여수신항 일대에 대한 적조 발생빈도가 매우 높았음을 알

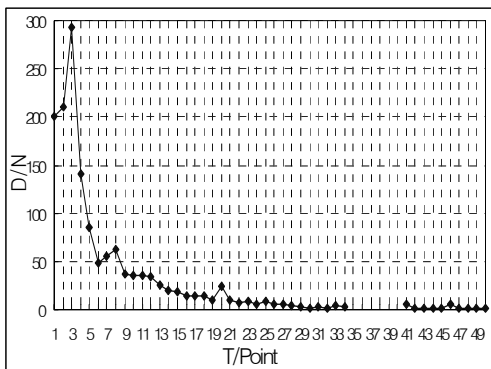


그림 12. 발생지 누적통계

수 있어 적조발생의 반복특성에 의해 이들 해역들에 대한 적조방지 대책을 필요로 한다.

#### 3.2 발생지 누계 방식의 이동성향

그림 12는 매년 발생한 발생지역을 격자로 변환하여 해석된 1996년과 1997, 1998년의 최대 발생 빈도 7회와 9회, 그리고 1999년과 2000년은 각각 14회와 20회 발생지 해역에 대한 독취 자료 값을 연구범위 5년간의 총 누적회수로 환산하여 연구지에 대한 적조를 분석하였다. 발생해역에서 누적값이 3회인 격자가 293점을 최대로 누적 값 13회인 격자가 26으로 13회 이상 발생된 해역의 격자수는 약 1,260으로 나왔으며, 누적값 41회 이상인 격자도 22임을 알 수 있다. 위와 같은 분석결과를 토대로 누적 값 10회 이상인 해역에 대한 격자를 연결 할 경우 나로도를 중심으로 동해안 방향으로 금오도와 돌산도사이의 해역과 돌산도 동안을 통과하여 여수신항 그리고 남해남면 일대와 앵강만으로 향하는 이동성향으로 해석이 가능하며 또한 서해안 방향으로 나로도에서 고흥남도 남안 수락도와 단장 해역을 통과하여 거금도와 득량도로 향하는 이동성향으로 해석 할 수 있다.

### 4. 결 론

적조의 발생지에 대한 공간지 특성을 판단하고자 자료의 검증이 완료된 1996부터 2000년까지 여수연안 일대의 7개 해역에서 GIS를 이용하여 발생지의 이동과 소멸과정까지의 공간을 분석하여 본 결과, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 5년간 발생한 적조발생지 자료를 이용하여 연구지에서 발생했던 고밀도(800cells/ml) 횡수를 기준한 내용을 중점 분석한 결과 공간별 발생 빈도수를 분석할 수 있었으며 연구기간 중 고밀도의 적조발생이 거의 없었던 해역으로 여자만 및 광양만 일대임을 알 수 있었으며, 최대 빈도의 발생지는 남해도 남면일대 해역임을 알 수 있었다.

둘째, 3년 이상의 최고빈도수를 보여주는 해역은 남해도와 여수 금오도인근 그리고 득량만 일대의 해역으로서 연구지에서의 적조발생 특성으로 유사 인근 해역에서 반복적으로 발생됨을 알 수 있었다.

셋째, GIS를 이용하여 적조의 이동경로를 분석하여 본 결과, 나로도를 중심으로 동해안 방향으로 금오도와 돌산도사이의 해역과 돌산도 동안을 통과하여 여수신항 그리고 남해도 남면 일대로 향하는 이동성향으로 해석이 가능하였다.

넷째, 적조 발생 및 소멸지의 공간특성을 근거한 적조

관련 연구는 적조 원인자의 복잡성과 자료의 방대함에 아직 초기단계이다. 이후 적조발생 공간의 명확한 분석이 필요하며, 분석된 자료와 기존 연구결과인 자연 및 물리적인 요인 등을 적용하여 중첩 분석한다면 발생과 소멸까지의 이동특성 및 원인분석이 가능하리라 보며, 이와 같은 연구를 위해 생·화학적 원인해석을 근거한 해양 관련 연구자와 GSIS를 이용한 공간결정 연구자간의 교류를 통한 연구가 진행되어야 한다고 판단된다.

### 참고문헌

1. 국립수산진흥원, 1997, “한국 연안의 적조”.
2. 국립수산진흥원, 2000, “한국연안(남해안)의 적조발생상황”.
3. 국립해양조사원, 2000, “조류도”, 남해도와 완도.
4. 국립해양조사원, 2003, “한국남안 및 부근 해도”, 2003.
5. 김진기, 2002, “원격탐사를 이용한 적조발생지 추출”, *대한토목학회논문집*, 22-4D, pp. 791-799.
6. 김학균 외 6, 1999, “나로도 인근해역에서 *Cochlodinium Polykrikoides* 적조의 최초발생과 환경특성”, *수산진흥원 연구보고서*, 57, pp. 119-129.
7. 여수시, 2005, “제3회 여수통계연보”.
8. 이영식 외 6, 2002, “여수 돌산도 동부연안해역에서 담수유입에 의한 구조적조 발생”, *대한환경공학회지*, 제24권 3호, pp. 477-488
9. 최현용, 2001, “한국 남해 나로도 와 소리도 사이 해역의 1998년 하계 해황 및 적조소멸과의 관계”, *한국해양학회*, 6-2, pp. 49-62.
10. 해양수산부, 1993, “적조피해대책연구”, pp. 38-164.
11. 岡市反利, 1987, “赤潮の科學”, 恒星社厚生各, pp. 18-288.
12. Anderson, D.M., F. M. M. Morel, 1979, The seeding of Red tide blooms by the germination of benthic *Gonyaulax tamarensis* hypnocyts, *Estuarine, Coastal Marine Science* 8, pp. 279-293.
13. Mead, A.P. 1989, *Peridinium* and “Red Water” in Narragansett Bay, *Science* 8, pp. 707-709.
14. ESRI, 1998, *PC ARC/INFO USER GUIDES*.