

객체지향 데이터 모델에 기반한 해양환경 분석에 따른 어장 등급 분류

이재봉^{1*} · 이홍로²

Classified Fishery Grade Using Analysis of Coastal Environmental Based on Object-Oriented Data Model

Jae-Bong LEE^{1*} · Hong-Ro LEE²

요 약

본 논문은 공간 통계 분석에 기반한 해양오염에 대한 영향 평가를 위해 지리적 환경에 있는 오염원에 대한 지리객체와 지리필드를 규정하고, 해양 환경 영향 평가 시스템을 구현하고자 한다.

해양 영향 평가에 따른 어장의 등급 산출을 위하여 반베리오그램을 통해 공간적 상관관계의 정도를 분석하고, 크리깅 기법을 이용하여 공간자료의 등가분포도를 예측하고자 한다. 이 공간통계분석을 통한 어장의 오염 지역의 등급을 추정하고, 어장이 속한 등급에 따른 면적의 비율을 산출하고자 한다. 그래서 효율적 어장 환경의 판정을 통한 해양 영향 평가를 하는 어장 등급 산출에 기여 할 수 있다.

주요어: 객체지향, 해양오염, 공간 통계분석, 크리깅, 베리오그램, 어장 등급

ABSTRACT

This paper will specify geo-objects and geo-fields of the geo-ecological contamination source and implement the system for evaluating an ocean Environmental contamination based on the spatial statistical analysis.

In order to produce the grade of fishery that can evaluate the ocean effect, we will analysis the degree of the spatial correlation by semi-veriogram and predicate the elevation raster of spatial data using ordinary kriging method. This paper is to estimate the grade of fishery contamination region and produce the ratio of the area according to the fishery grade. Therefore, we can contribute to produce fishery grade that evaluates the ocean effect by means of deciding an efficient fishery environment.

2005년 1월 5일 접수 Recieved on January 5, 2005 / 2005년 3월 24일 심사완료 Accepted on March 24, 2005

¹ 전북대학교 컴퓨터공학과 Department of Computer Engineering, Chonbuk National University

² 군산대학교 컴퓨터정보과학과 Department of Computer Information Science, College of Natural Science, Kunsan National University

*연락처 E-mail: jbonglee@mail.chonbuk.ac.kr

KEYWORDS: *Object Oriented, Ocean Contamination, Spatial Statistical Analysis, Kriging, Verogram, Fishery Grade*

서 론

인류는 대부분이 해안 인접한 곳에 모여 산다. 이로 인해 인근 해역은 양식어장이 발달해 왔다. 또한 해역 인근은 공업화가 가속되었고, 인구가 증가해 환경오염 물질의 발생이 날로 증가하고 어장에 많은 영향을 주고 있다. 따라서 유출되는 오염 물질에 의한 어장 환경의 관정을 위한 공간 분석이 요구된다. 어장은 육지의 지리적 환경에 영향을 받게 되므로 주변 환경에 대한 고려가 필요하다.

오윤석 등(2004)은 국가기본지리정보의 해양 분야에 대한 연안 해저 지리정보 구축을 위한 해저 정보 기초 자료를 조사하였다. 최현우 등(2002)은 해양과학자료의 적용 사례를 연구하였다. 박흥기 등(2004)은 제2차 국가지리정보체계 기본 계획에 입각하여 해양 지리정보체계(MGIS: marine geographic information system)사업의 일환으로 해양 지리정보 구축시 필수 항목 기준 지침 구성(안)을 제시하였다. 김용훈 등(2004)은 해양 환경에 막대한 영향을 주는 적조 관측에 초고주파 radiometer(라디오미터)를 이용하였다.

본 논문은 해양오염에 대한 영향 평가를 위해 지리적 환경에 있는 오염원 (contamination source)을 고려함에 있어 지리객체 영향력과 공간적 관계성을 이용하였다. 수질 측정 점은 지리객체와 위상 관계(topological relationships)뿐만 아니라 계절에 따른 화학적 요인, 생물학적 요인 및 물리적 요인 등에 영향을 받는다. 측정된 해수의 40개 정점에 대한 자료는 수직적 분포에 따라 수질의 표층과 저층(bottom-1m), 그리고 저질의 표층(2cm)으로 나누어 수집하였다(부경대, 2001). 이 측정점의 지리 영역은 경상남도 사천시, 고성군, 통영군과 남해군 인근 해역이 되며, 정점 지리객체와 연관된 주변 환경

을 구성하는 지리객체들로는 지형 및 어장 등이 있다. 측정점의 성분이 지리정보시스템을 위한 지리종속 속성이 되고, 이를 포함한 각각의 지리객체의 성분이 지리종속 속성이 지리필드가 된다(이홍로, 2003; Camara, 1995; Goodchild, 1992; Worboys, 1995). 이 해양 영향 평가 시스템을 UML(unified modeling language)에 기반하여 정적 클래스계층도, 상태도, 순차도와 기능을 설계한다(이홍로, 2003). 정점 지리객체는 공간적으로 다른 지리객체로부터 영향을 받게 되는데, 정점 지리객체의 성분을 가지고 있는 다른 지리객체의 성분을 지리 통계기법을 통한 성분의 농도를 이용하여 평가한다. 해양환경의 등급을 평가하기 위한 등차선도의 작성을 위해 성계 수정율을 관측하였으며, 관측되지 않은 지점의 추정을 위해 보간법을 이용한 지구통계학적 방법인 크리깅(kriging)을 이용한다(Matheron, 1963). 크리깅은 확률변수의 베리오그램에 따라 정규 크리깅(ordinary kriging), 일반 크리깅(universal kriging) 및 코크리깅(cokriging)이 있다(최종근, 2004). 해양환경 평가를 위한 확률변수에 의한 베리오그램이 거리에 따라 정상적 변위를 따르므로 본 논문은 정규 크리깅이 이용된다.

해양 영향 평가를 위해 ArcGIS 8.3 공간 데이터 타입을 상속받은 클래스를 설계하고 다른 지리객체와 정점 지리객체의 공간 분석을 위해 ArcMap을 이용하였다. 측정점의 지리필드는 삼천포 인근 해역 어장지역 40개소의 23개 성분을 분석하여 이용하였다. 공간 데이터베이스를 위해서 ArcGIS 8.3을 이용하였다(Jay, 2001).

본 논문은 해양 영향 평가를 위한 공간분석을 통한 어장의 오염 지역의 등급을 추정하고 타당성 조사를 통하여 어장 인허가를 효과적으로 관리하고 오염원이 있는 해역의 재평가 및 주변 지역 개발 계획 수립에 활용될 수 있다.

본 논문의 구성은 해양 영향 평가를 위한 데이터 모델을 제시하고, 크리깅 기법으로 해양 영향 분석과 어장 등급을 평가하며, 다음으로 사용자 인터페이스를 보이고, 마지막으로 결론을 내리고 향후 연구에 대해 토의한다.

객체지향 공간 데이터 모델

이 절에서는 공간 데이터 모델을 규정하고, 이를 이용하여 삼천포 해양 영향평가를 위한 클래스 계층 구조를 설계하고자 한다. 개념적 관점으로부터 지리 자료는 지리객체와 지리필드로 나누어진다 (Goodchild, 1992; Worboys, 1995). 지리객체는 지리영역에서 독립적으로 존재하는 개체를 나타내며, 지리필드는 지표면의 임의 지역에 있는 지리변수의 공간 변수를 표현하는 객체이다(이홍로, 2003; Camara, 1995; Goodchild, 1992; Worboys, 1995).

공간상에 존재하는 지리필드 공간상에 연속적으로 변화하는 속성을 말한다. 이 필드는 공간상의 임의 위치에서 정적 상태로 존재하는 스칼라 필드(scalar field), 1차원, 2차원 평면 및 3차원 공간에서 동적인 상태로 방향과 크기를 가지는 벡터 필드(vector field), 그리고 3차원 공간에서 동적인 상태로 임의의 두 벡터 필드의 카아티션 곱(cartesian product)에 의해서 제3의 힘이 생성되는 텐서 필드(tensor field)로 나누어

진다(이홍로, 2003; Camara, 1995; Goodchild, 1992; Worboys, 1995). 지리필드는 임의의 지리 영역에서 지리적 위치에 따라 종속적으로 존재하는 정적인 값을 의미한다. 본 논문에서는 2차원 평면에 대한 필드를 이용하고자 한다. 그림 1은 해양 영향 평가를 위한 지리 공간 데이터베이스의 클래스 계층구조이다. 여기서 지리필드로부터 상속 받은 자료표현(RF)은 TIN(triangular irregular network), GC(grid cell), AP(adjacent point), IP(irregular point), IL(iso line)과 GP(grid point)이다.



FIGURE 1. Spatial class hierarchy

삼천포 연안에서 2차원 지리필드들은 성계 수정율-지리필드, 수온-지리필드, COD-지리필드, pH-지리필드, BOD-지리필드 및 NH4-지리필드 등이 있다(부경대, 2001). 예를 들어 삼천포 연안에 연속해서 분포한 성계 수정율-지리

TABLE 1. Geo-field structure for fecundation rate of sea urchin

foid	위치(위도, 경도)	성계수정율	M _F	R _F
	(35 00 069,128 01 542)	q ₁		
	(34 58 395,128 02 243)	q ₂		
	(34 58 248,128 00 368)	q ₃		
foid _i	M _F	IP
	(34 47 417,128 11 009)	q ₃₈		
	(34 44 855,128 05 849)	q ₃₉		
	(34 44 663,128 13 578)	q ₄₀		

필드는 이산적인 40개 지점만 취하여 표현한 현황은 필드 식별자(foid), 40개의 위치(위도, 경도)와 단일변량 성계 수정율, 메소드(M_F)와 그림 1의 지리필드에서 상속된 자료표현은 IP(irregular points)로 구성하며, 다음의 표 1과 같이 기술할 수 있다.

지리객체는 공간상에 독립적으로 존재하는 대상을 말한다. 지리객체는 객체 식별자, 공간 내포, 속성, 메소드와 기하 표현(geometric representation)을 성분으로 가지는 3차원 연속 공간에서 개념화시킬 수 있다(이홍로, 2003), (Camara, 1995), (Goodchild, 1992), (Worboys, 1995).

삼천포 연안에서 지리객체들은 관측점-지리객체, 어장-지리객체, 그리고 지형-지리객체이다. 예를 들어 삼천포 연안 어장-지리객체는 다음의 표 2와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 goidi는 지리객체의 식별자이며, MO는 어장-지리객체의 메소드이고 RO는 어장-지리객체의 자료형이다.

성계 수정율에 의한 해양 영향 분석

1. 공간 통계분석

해양 영향 평가를 위한 공간 통계 절차는 5 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 공간적 위치를 나타내는 수치지도(1:25,000)와 현장에서 측정된 필드 자료로 이루어져 있다. 두 번째 단계는 공간적 위치에 따른 필드 자료에 대한 자료 분포 유형을 확인한다. 세 번째는 구형적 모델에 기반한 공간 자기상관관계를 규정한다. 네

번째 단계는 오차분산 최소 가중치를 이용하여 미지의 값을 예측한다. 마지막으로 어장 등급에 따른 결과를 분석한다. 이에 대한 공간 통계분석 UML 상태도는 다음의 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.



FIGURE 2. State diagram for analysis of spatial statistical

2. 정규 크리깅(Ordinary Kriging)

해양환경 평가의 방법으로 성계 수정율을 이용하였다. 또한, 해양환경 평가를 위한 성계 수정률 확률변수에 의한 베리오그램이 거리에 따라 정상적 변위를 따르므로 관측된 지점의 수정율을 표면에 등차선으로 표현하기 위해 정규 크리깅을 이용하였다. 미 관측지점의 수정율 추정을 위한 수식은 다음과 같다.

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

TABLE 2. Geo-object structure for fishery

goid _i	관리번호	유형	M ₀	R ₀
goid ₁	제98-1호	건 망		
goid ₂	고성양식 제10호	굴양식		
goid ₃	고성양식 제123호	굴양식	M ₀	polygon
goid ₄	경남양식 50호	바지락양식		
...		
goid ₂₇₁	남해정치 57호(구. 2231호)	정치망어업		

여기서, $Z(x_i)$ 는 관측된 성계 수정율, μ_i 는 $Z(x_i)$ 에 배당된 가중치 및 $Z(x_0)$ 는 추정 수정율이다. 실측되지 않은 지점(x_0)의 수정율 Z 값 추정은 탐색 지역 내에 있는 관측 지점($1 \leq i \leq n$)들의 수정율 Z 값과 거리에 따른 가중치(μ_i)들의 합에 의해 $Z(x_0)$ 가 추정된다.

추정되는 성계 수정율의 조건은 다음과 같다.

$$E[Z(x'_0) - Z(x_0)] = 0$$

여기서 $Z(x'_0)$ 는 추정 지점 ' x'_0 '의 미지 참값이고, $Z(x_0)$ 는 추정 성계 수정율이다.

크리깅에 의한 추정되는 성계 수정율의 분산은 다음과 같다.

$$E\{[Z(x'_0) - Z(x_0)]^2\} = E[Z(x'_0)]^2 - 2E[Z(x'_0)Z(x_0)] + E[Z(x_0)]^2$$

근접한 추정을 위해 크리깅 분산은 최소가 되도록 하는 베리오그램이 결정되어야 한다.

3. 베리오그램 결정

관측된 성계 수정율 자료의 특성은 베리오그램에 의해서 나타나며 베리오그램은 임의의 두 지점간의 값의 차이의 분산으로 결정된다 (Matheron, 1963).

$$2r(h) = E\{[Z(x) - Z(x+h)]^2\} = [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2$$

$$r(h) = (1/2) E\{[Z(x) - Z(x+h)]^2\} = (1/2)[Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2$$

여기서 $2r(h)$ 는 베리오그램이고 $r(h)$ 는 반베리오그램이다. $Z(x)$ 는 임의의 지점 ' x '의 성계 수정율 관측값, $Z(x+h)$ 는 x 에서 h 만큼 떨어진 지점의 수정율이다. n 은 탐색 지역 내의 $Z(x_i)$ 와 $Z(x_{i+1})$ 의 개수이다.

크리깅에 의해 미지 지점의 수정율 추정은 관측치의 공분산으로부터 결정되는데 관측자료 반베리오그램에서 구해지며 수식은 아래와 같다.

$$C(h) = \text{sill} - r(h)$$

여기서 $C(h)$ 는 'h'거리 만큼 떨어진 지점의 공분산, $r(h)$ 는 'h'거리 만큼 떨어진 반베리오그램이다. sill은 일정한 범위(range)를 벗어나면 반베리오그램과 상관성이 없어지는 안정된 상태가 된다. 반베리오그램에 의한 미지 값의 추정은 sill에 따라 적합한 반베리오그램 모델이 선택된다(Journel and Huijbregts, 1978). 모델의 선택을 위해 SSR(sum of squares regression)과 R^2 (goodness of fit)을 이용하였다. 회귀식의 적합도(R^2)가 1.0에 가까운 것이 우수한 모델이다(Davis, 1986).

실험적 베리오그램을 구하는 과정은 다음과 같다.

- ① 관심 변수의 표본공간을 정의한다.
- ② 자료를 획득한다.
- ③ 실험적 베리오그램 계산한다.
- ④ 등방성과 이방성을 고려한다.
- ⑤ 주어진 모든 영역에서 베리오그램을 정의할 수 있도록 이론적 베리오그램을 작성한다.

위의 과정 ①~⑤을 적용한 삼천포 인근 해역에서 표본 추출한 성계 수정율 자료는 표 1의 지리필드 구조를 이용하여 다음의 그림 3과 같이 표현할 수 있다. 이에 기반한 실험적 베리오그램을 계산한 그래프는 다음의 그림 4와 같다.

위의 그림 2과 그림 3에 의한 성계 수정율 실험적 베리오그램 모델링에서 Spherical 모델에서 분리거리 h (lag distance)는 12×10^{-3} 이고, 문턱 값(sill)은 2.5925×10^{-2} 이며, 너깃(nugget)은 4.1196×10^{-3} 이다. 이와 같은 실험적 베리오그램을 통해 공간적 상관관계의 정도를 알 수 있다. 표 3은 모델에 따라 실험적으로 구해진

TABLE 3. Spatial Relationship Using Model of variogram

Model	Nugget	Sill	Range	R ²
Spherical	4.1196×10 ⁻³	2.5925×10 ⁻²	12×10 ⁻³	0.9812
Exponential	7.1129×10 ⁻³	2.777×10 ⁻²	12×10 ⁻³	0.9708
Gaussian	6.6204×10 ⁻³	3.0715×10 ⁻²	12×10 ⁻³	0.9235

공간 상관성을 보이고 있다. spherical 모델의 R²가 다른 모델에 비하여 1.0에 가까운 값을 보이므로 이 모델을 선택한다.

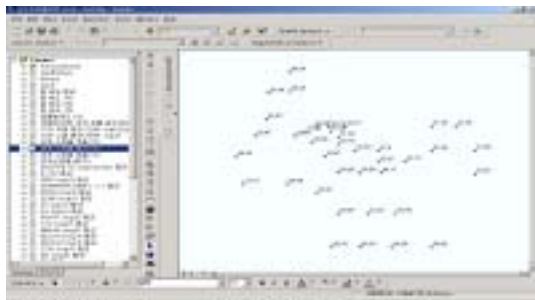


FIGURE 3. Goe-field position for fecundation rate of sea urchin

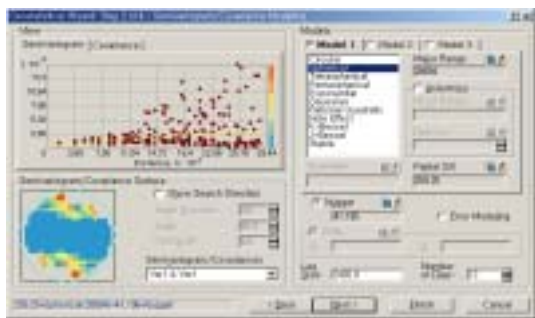


FIGURE 4. Semi-variogram using spherical model

예측 값을 구하는 과정은 앞의 ①-⑤을 통해 구해진 이론적 베리오그램을 이용하여 크리깅 기법을 통하여 원하는 지점의 정보를 예측한다. 그림 5는 'ordinary kriging'을 위해 'spherical' 모델로 얻어진 등가분포도이다.

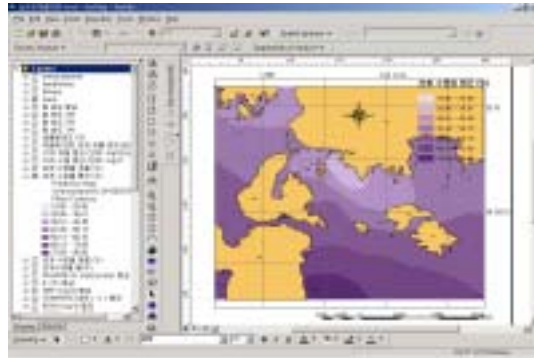


FIGURE 5. Analysis for fecundation rate of sea urchin using kriging

어장 등급 평가

해양 영향 분석에 따른 어장의 등급 평가는 5단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 측정점을 이용하여 전술한 바와 같이 크리깅으로 공간을 등가 분포도를 구하고, 두 번째 단계는 어장이 속한 영향 영역을 검색한다. 세 번째는 어장의 모양에 따라 어장의 면적을 산출하고, 마지막으로 어장이 만약 두 개 이상의 영역에 공간적 겹쳐진 부분에 있다면 그에 대한 등급과 어장의 비율을 평가한다. 그림 6은 어장 등급 평가 절차를 UML 상태도로 나타낸 것이다.

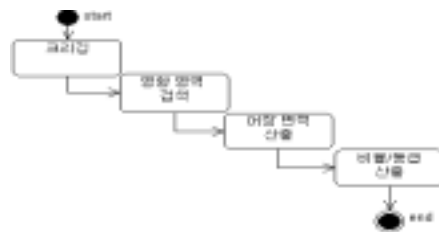


FIGURE 6. Sequence of fishery grade test

1. 어장 면적 산출

어장은 표 2와 같이 종류에 따라 모양이 다르다. 어장의 모양에 따라 어장의 면적을 계산하는 방법이 다르다. ArcGIS에서 'polygon'형의 면적을 구하는 함수는 다음과 같다.

Area(Feature_ID, layer_Nun)

'Area'는 면적을 구하는 함수명이다. 이 함수의 매개변수는 면적을 원하는 피처(feature)의 식별자(feature_ID)와 피처가 속한 레이어(layer)의 구별자(layer_Num)이다.

2. 어장이 속한 영역 검색

그림 5의 해양 영향 영역은 관측점의 각 요소에 따라 공간 통계적으로 분석되었다. 분석된 영향 영역의 어느 부분에 어장이 존재하는가에 대한 여부는 다음과 같은 공간 연산 함수에 의한 다.

Function Intersect(

ByVal other As IGeometry,
ByVal resultDimension As
esriGeometryDimension

) As IGeometry

IGeometry는 'other' 객체의 기하 속성에 관

한 자료형을 선언한다. esriGeometryDimension는 'other'가 가지는 차원을 나타낸다. 위의 함수는 지리 객체의 자료형을 반환한다. 표 4는 어장이 속한 영향 영역의 예를 그림 7의 인터페이스를 통해 구한 것이다. 여기서 E1, E2, E3와 E4는 크리깅에 의해 분류된 영역이다.

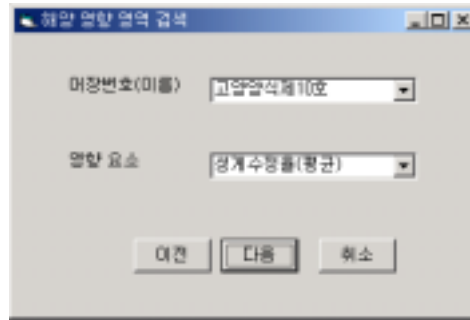


FIGURE 7. Interface for search of relationship between fishery and effect area

3. 어장 영향 영역에 따른 영향 영역 내의 부분 어장의 면적 및 비율

어장이 속한 영향 영역에 해당하는 부분 '2. 어장이 속한 영역 검색'절에서 생성된다. 생성된 부분 어장의 면적과 근원이 되는 어장의 면적과의 비율을 계산한다. 어장은 분석된 해양 영향 영역의 등급, 면적과 비율을 이용하여 어장의 영향의 정도를 평가한다. 그림 8은 어장을 평가한 결과를 보인 인터페이스이다.

TABLE 4. Relationship between fishery and effect area

어장	영향영역			
	E1	E2	E3	E4
제98-1호	F	T	T	F
고성양식 제10호	F	F	T	T
고성양식 제123호	F	T	F	F
경남양식 50호	F	F	T	T
...	F	F	F	F
남해정치 57호(구. 2231호)	F	F	F	F

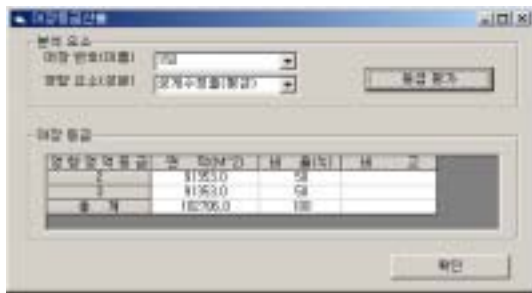


FIGURE 8. Area, grade and rate of fishery using relationship between fishery and effect area

해양 영향 분석 사용자 인터페이스

해양 영향 분석을 위해 ArcGIS 8.3을 이용하여 Visual Basic 6.0으로 사용자 인터페이스를 제작하였다. 측정 자료는 본 시스템을 이용하여 공간 지리 통계 기법에 기반하여 분석하였다. 분석 결과는 그림 5와 같다. 이를 바탕으로 어장과 영향 영역에 대해 공간 연산을 수행함으로써 그림 8과 같은 등급과 비율을 얻었다. 그림 9는 ArcMAP을 이용하여 어장의 평가 결과를 보이고 있다. 어장의 등급 평가를 위한 창에서는 평가에 필요한 입력 자료인 어장의 이름과 평가 분석 요소를 선택할 수 있게 한다. 평가 결과 창에서는 어장의 이름과 분석요소에 따라 어장이 속한 등급, 면적과 비율을 나타낸다.



FIGURE 9. User interface for classification of fishery grade

결론

본 논문은 해양오염에 대한 영향 평가를 위해 지리적 환경에 있는 오염원에 대한 지리객체와 지리필드를 규정하였고, 공간 통계분석을 기반으로 하여 해양 영향 평가 시스템을 구현하였다.

해양 영향 평가에 따른 어장의 등급 산출을 위하여 실험적 반베리오그램을 이용하여 공간적 상관관계 정도를 도출하였고, 정규 크리깅 기법을 이용하여 성계 수정을 공간자료의 등가 분포도를 예측하였다. 해양 영향 분석 사용자 인터페이스를 통하여 해양 영향 분석 등급과 어장이 속한 등급에 따른 면적의 비율을 산출하였다.

본 논문은 산업 개발과 인구 증가에 따른 환경적 영향 평가에 따른 영향 등급 산출에 기여하였다. 향후 연구 방향으로 환경에 영향을 미치는 요소의 관측에 있어서 전 영역에 고르게 분포한 인자의 측정을 정밀하게 보완하기 위하여 실측 자료를 정규화하고 위성 영상을 활용하도록 할 것이다.

참고문헌

Booch, G., J. Rumbaugh and Jacobson. 1999. The Unified Modeling Language User Guide. Addison-Wesley, Reading, MA.

Camara, G. 1995. Models, languages and Architectures for geographical Information Systems. Ph. D. theses. INPE in Brazil.

Davis, C. J. 1986. Statistics and Data Analysis in Geology. 2nd edition, John Wiley & Sons.

Goodchild, M. F. 1992. Geographical data modelling. Computers & Geosciences. Vol.18, pp.401-408.

Jay. L. and W. S. W. David. 2001. Statistical Analysis with ARCVIEW GIS. John Wiley & Sons, Inc.

- Journel A. G. and C. J. Huijbregts. 1978. Mining Geostatistics. Academic Press.
- Kevin John ston, M. Jay, Ver Hoef, Konstanfin Krivoruchko and Neil Lucas. 2001. Using ArcGISTM GeoStatistical Analyst. pp131-218.
- Matheron, G. 1963. Principles of Geostatistics. Economic Geology. Vol. 58, 1246-1266.
- Robertson, G. P. 1998. GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences, Gamma Design Software. Plainwell, Michigan, U.S.A.
- Worboys, M. F. 1995. GIS: A Computing Perspective. Taylor & Francis Inc.
- 권우석, 김계현. 1998. GIS를 이용한 시화호 유역 수질 환경오염의 파악. 대한 원격 탐사학회 춘계학술대회 논문집. 51-53쪽.
- 김성준. 1997. 인천 연안 기수 해역의 영향염과 미량금속의 생물 화학적 동태에 관한 연구. 인하대학교 석사 학위 논문.
- 김용훈, 김성현, 박혁, 최준호, 이호진, 최승운, 최재연, 서승원. 2004. 초고주파 라디오미터 센서를 이용한 적조 관측 실험. 2004 GIS/RS 공동 춘계학술대학 논문집. 449-445쪽.
- 박흥기, 원종갑, 손은정, 박찬혁, 조현태. 2004. 해양기본지리정보 구축 및 유지관리 방안에 관한 연구. 2004 GIS/RS 공동 춘계학술대학 논문집. 441-448쪽.
- 부경대학교 해양과학공동연구소. 2001. 07. 삼천포화력 건설 및 가동으로 인한 해양영향조사 보고서(상). 251-288쪽.
- 오윤석, 김병국, 박병문, 최윤수, 남수용. 2004. 우리나라 연안해역 해저정보에 관한 연구. 2004 GIS/RS 공동 춘계학술대학 논문집. 429-434쪽.
- 이홍로. 2003. 객체-지향 지리정보시스템을 이용한 새만금 수자원 관리 시스템의 홍수방어 시뮬레이션 구현. 한국지리정보학회지. 6(2): 33-45.
- 최종근. 2004. 공간정보모델링-크리깅과 최적화 기법. 도서출판 구미서관, 83-166쪽.
- 한국전력공사. 1999. 영흥 화력 발전소 주변 해역 사후 환경 영향 조사 보고서('98년).
- 한국해양연구소. 1997. 영흥 화력 발전소 해양 동식물 환경 영향 및 해양 생태계 환경 조사서.
- 최현우, 신기재. 2002. 해양과학자료 분석을 위한 GIS 적용사례 연구. 한국지리정보학회 2002년 춘계학술대회 발표논문집. 90쪽.