

해양오염도 분석을 위한 연안 정점 데이터의 활용방안에 관한 연구

- 부산연안해역을 중심으로 -

황진욱^{1*}, 김호용¹, 이성호²

A Study on Methods of the use of Coastal Station for the Analysis of Marine Contamination

- Focusing on Busan Coastal Sea Area -

Jin-Wook HWANG^{1*}, Ho-Yong KIM¹, Sung-Ho LEE²

요 약

수제선의 안쪽인 육역의 경우는 각 역할에 따른 관리주체가 공간 활용 등의 목적으로 인하여 어느 정도 관리가 되고 있지만, 해역의 경우는 육역에 비하여 관리정도가 아주 미비한 실정이다. 하지만 국토공간의 지속적인 개발 관심과 더불어 해양공간의 확보 및 활용에 대한 관심이 높아지면서 해양에 대한 정보 및 환경에 대한 정보 요구도가 높아지고 있는 실정이다.

본 연구의 대상지인 부산은 다른 지역의 연안과는 달리 항만, 관광, 부두 등의 다양한 역할을 하고 있으며, 여러 가지의 환경적 요인을 가지고 있기 때문에 체계적인 관리가 필요하다. 하지만 광범위한 부산연안지역의 해양 오염도를 분석하기 위해서 주요지점 및 많은 지역에서의 데이터 획득이 중요한데 반하여 지속적으로 제공하는 부산연안의 데이터의 수는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 연안 변화를 분석하기 위해 높은 정보 요구도에 의한 수치해도의 수요증대에 대비하여 수치해도를 이용하여 국립수산물과학원에서 제공하는 부산연안의 17개 연안 정점 자료와의 결합을 통하여 속성 및 공간데이터를 구축하고, GIS의 공간통계분석기법을 이용하여 연안의 환경 현황과 연속성 파악을 위한 분석 기법과 효용방안에 대해 제시하고자 한다.

주요어 : GIS, 수치해도, 공간통계분석, 연안환경 변화

ABSTRACT

The land area, which is on the inner side of the water line, is controlled to a certain degree due to the purposes of space utilities controllers' respective roles, but the sea area is not so

2006년 8월 11일 접수 Received on August 11, 2006 / 2006년 10월 30일 심사완료 Accepted on October 30, 2006

1 부산대학교 지형정보협동과정 Department of GIS, Graduate school, Pusan University

2 부산대학교 도시공학과 교수 Department of Urban Engineering, Pusan University

* 연락처 E-mail : jinwook@pusan.ac.kr

much controlled as the land area. However, as interest in the security and utility of the marine space, as well as that in the consistent development of the land space, has increased, there has been increase of the requirement for information about marine data and environment. The object of this study, Busan, plays various roles such as a harbor and bay, a tourist resort, and a port unlike coastal seas of other areas, and thus needs systematic control because it has numerous environmental factors. However, there are limitations in the number of data about Busan coastal sea constantly provided while the acquisition of data from main points and many areas is important for the analysis of marine contamination in Busan coastal sea area. Thus, using nautical charts with numerical values in preparing increase of the demand of them according to the degree of information requirement for the analysis of the changes in coastal areas, this study constructs property data and space data by combining vertex data about Busan's 17 coastal sea areas provided by NFRDI, and tries to present the analytical techniques for grasping the environmental conditions and continuity of the coastal areas and methods of their utilities, using GIS Geostatistical Analysis Technique.

KEYWORDS : GIS, Digital charts , Geostatistical Analysis, change of coastal area

서 론

1. 연구배경 및 목적

바다는 다양한 영역에서 우리들에게 풍요로움과 삶의 질을 향상시키는 모태인 동시에 수산자원, 광물자원 및 에너지 자원의 보고로서 뿐만 아니라 유용한 운송매체로서의 역할도 수행하고 있고, 또한 쾌적한 생활환경 및 위락 공간으로서의 심미적 생태적 가치가 있으며, 향후 인류의 생존을 보장해 줄 수 있는 귀중한 자원의 보고이기도 하다. 그러나 우리는 지금까지 연안을 포함한 바다를 수산업적인 측면만을 보고 육지에 비해 경제성이 낮다고 평가하여 왔고, 그 결과 육지에 비해 보존 노력을 소홀히 했던 것이 사실이다.

본 연구의 대상지인 부산의 연안은 일괄적인 국가 환경기준을 적용하기에는 매우 특이하고 복잡한 연안의 이용특성과 환경특성을 가지고 있어 부산연안에 적합한 지역해역 환경기준의 마련이 필요한 실정이다. 또한 해양자원을 이용하여 각종 생산 활동과 산업 활동이 이루어져 왔으며, 현재 세계4대 컨테이너항으로 전국 수산물 유통의 44%를 차지하는 국내 제일의 해

양 도시로서 발전해 왔다. 이러한 잠재력을 바탕으로 미래에는 해양자원을 활용한 보다 부가가치 높은 항만, 수산, 관광, 물류산업을 통한 도시발전을 계획 하고 있다. 하지만 미래 지속적인 해양자원을 이용한 도시발전을 위해서는 해양수질환경에 대한 적절한 관리가 이루어져야 한다.

이에 본 연구에서는 GIS 공간분석과 수치해도를 활용하여 연안오염 변화를 살펴보고자 국립수산과학원에서 제공하는 17개 부산연안 정점데이터를 이용하여 변화양상을 살펴보고 연구결과를 바탕으로 해양환경 관련 연구의 방향을 제시하고자 한다.

2. 연구의 필요성 및 방법

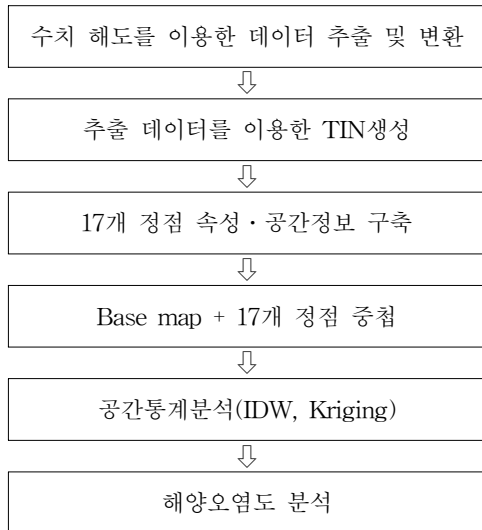
우리가 생활하는 생활터전에 대한 관심의 비중이 높은 만큼 공간의 활용에 대한 관심이 증대되어져 왔고, 공간 활용 및 분석을 위한 GIS의 연구 및 활용이 증대되어지고 있다. 따라서 GIS의 구성요소로 가장 큰 비중을 차지하는 데이터 부분의 충족을 위하여 수치지도가 많이 활용되어지고 있다. 공간에 대한 관심

이 육지지역에서 바다로 옮겨가면서 바다지역에 대한 공간분석의 요구가 증대되고 이에 따라 수치해도 사용의 수요증대가 예상된다.

그리고 현재까지 국가연안등급 및 오염도를 구분할 때 수질이 측정되는 해당 포인트 위치에 대해서만 수행되어 수질의 공간적 변화 양상을 파악하기 어려운 단점을 가지고 있다. 그래서 연안 수질의 공간적 분포 특성을 파악하기 위해서는 측정된 지점뿐만 아니라 측정되지 않은 미 관측 지점에 대해서도 수질 자료가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 수치해도와 GIS의 공간분석을 활용하여 해양오염도 분석을 위한 GIS 기본데이터를 구축하고 국립수산과학원에서 제공하는 부산연안지역의 17개 정점 데이터와의 결합을 통하여 연도별 부산 연안지역의 해양오염도 변화를 살펴보고자 한다. 이는 국립수산과학원에서 제공하는 텍스트파일 형태의 각 정점 자료들을 기 구축되어진 GIS 자료에 속성결합을 통하여 지속적인 변화관측 및 과거 년도와와의 비교 변화 양상을 파악하는데 큰 도움이 될 것이다. 아래의 표 1은 연구의 전체적인 흐름을 나타내고 있다.

Table 1. 연구의 흐름도



3. 선행연구 고찰

GIS와 해양환경·연안과 관련된 기존 연구들을 살펴보면 (박종민과 서상현, 2001)은 해양과 GIS의 연계에 필요한 해양 GIS데이터 표준의 개념과 구성요소를 정의하면서 이를 위한 전략적 개발 방안을 제시하고 있으며, (장영동과 김진기, 2001)는 연안해역의 해양오염예측에 원격탐측방법을 이용하여 해수온, 조류의 변화, 적조원인 데이터를 해석함으로써 남해연안에 발생하는 현상을 사전에 예측하는 기법을 연구하고 그 활용가능성을 제시하고 있다. (김종규와 김정현, 2003)은 전자항해 지도, 디지털지도의 기본적인 그래픽소스에 대해서 GIS를 이용한 활용법에 대한 연구를 하였고 통계분석기법이 적용된 연구로는 (최희정, 2003)은 GIS와 다기준 분석법(MCA)을 활용하여 연안지역 평가 방법에 대한 연구를 수행하였고, (박인선, 2003)은 Spline·Kriging·IDW 분석법을 이용하여 원주시를 대상으로 환경소음지도를 작성 하였다. (최선영, 2004)은 GIS의 통계적 공간분석 중 Kriging 기법을 이용하여 해수침투 분포 양상 파악을 연구 하였다. (이남도, 2004)는 다변량·시계열 분석을 이용하여 군산 연안해역의 수질 특성을 연구 하기도 하였다. 최근의 연구를 보면 통계분석방법을 통한 연구가 많이 이루어지고는 있지만 분야별 최적의 통계분석방법이 정의되어 있지는 않다.

이론적 고찰

1. 부산연안의 특성 및 해역환경 기준

부산연안의 수심 분포는 동해와 남해의 분기점인 송정해수욕장을 기준으로 동해안은 급격한 수심 증가가 이루어지는데 비해 서쪽 남해안은 완만한 수심경사를 보이고 있다. 이러한 수심의 분포는 해역에 오염물질이 유입될 경우 동쪽 연안은 오염물질의 희석·확산이 보다 양호 하게 진행되며, 동쪽 연안의 수온변

등이 염분변동 보다 적고, 수질이 대체적으로 양호하게 나타나는 원인이 된다. 그리고 외해수와 연안수의 교환정도는 해류에 의한 영향을 평가할 필요가 있으나 이보다는 해안선의 지형적 특성이 가장 큰 요인으로 작용하고 부산해안선은 감천항과 다대포항을 제외하고는 개방형 해안선을 유지하고 있다.

부산 북항과 남항, 수영만 등이 일부 반폐쇄성 특성을 보이는 것으로 나타나지만 남항과 북항 사이의 해수유동이 원활하여 빈 산소 수계형성과 같은 폐쇄성 해역에서 나타나는 현상이 관찰되지 않고 있다. 연안의 물질 이동에 가장 큰 영향을 미치는 조석류에 의한 영향을 살펴보기 위하여 부산시에서 조사한 부산연안의 잔차류 분포현황을 살펴보았다. 주요 지점의 잔차류 유향을 살펴보면 동부 기장연안은 해안을 따라 북동 방향으로 수영만은 반시계방향의 환류가 형성되고 있으며, 부산항내에는 남항에서 북항 쪽으로 북동방향으로 흐름이 있고, 감천항은 외해에서 내만 쪽으로의 흐름이 이루어지는 것으로 나타남에 따라 외해수 유입에 의한 감천항의 수질개선에 기여할 것으로 판단되어 감천항이 폐쇄성 해안지형을 보임에도 불구하고 하계 저층 빈산소수계형성과 같은 전형적인 폐쇄성 내만에서 나타나는 수질특성이 나타나지 않는다. 낙동강하구 다대포 인근 해역에서는 하천수 유입에 따라 뚜렷한 남동방향의 잔차류가 형성되고 있음을 볼 수 있다.

법적으로 정하고 있는 해역의 환경 기준은

아래의 표 2와 같다. 이 표를 바탕으로 오염도의 등급을 구분하여 나타내었다.

2. 공간통계분석

GIS환경에서의 공간통계분석은 내삽을 위한 수학적 기능을 이용한 기술에 통계적인 요소가 사용되어져서 예측이 불확실한 지역의 표면형성과 평가에 사용되어질 수 있는 기능이다.

먼저 IDW방법은 가장 일반적인 보간법 중 하나이며 인접한 기지 점들과 미지 점까지의 거리에 따라 비선형적인 가중치를 계산하여 사용하는 것으로 이 방법의 기본 가정은 서로 다른 기지점이 한 미지 점에 미치는 영향은 미지 점으로부터 기지 점까지의 거리에 따라 감소한다는 것이다.

Kriging 방법은 미지점의 값을 추정하기 위해 IDW법과 같이 단순한 거리에 관한 함수를 이용하는 기하학적 의미에서의 거리 개념보다는 통계학적인 의미를 사용하여 추정에 필요한 주변 값들을 결정하는 최적화 기법을 적용하기 때문에 Kriging 방법은 최적의 선형추정 방법이라 불린다.

기존에 해양오염도 분석에 적용한 공간통계 분석방법에 대한 연구가 부족하여 본 연구에서는 공간통계분석의 일종으로 다른 공간분석에 활용되어지고 있는 IDW, Kriging, Spline, CoKriging등을 적용하여 보았으나 오차 및 편차의 분포를 살펴본 결과 IDW기법과 Kriging 기법이 적합한 것으로 사료되어 이 두 기법을 이용하여 분석을 실시하였다.

Table 2. 해역 환경 기준

등급	기 준						
	수소이온 농도(pH)	화학적 산소요구량 (COD)(mg/L)	용존산소량(DO) (mg/L)	총대장균군 (총대장균수/100ml)	용매추출유분 (mg/L)	총질소 (mg/L)	총인 (mg/L)
I	7.8~8.3	1 이하	7.5 이상	1000 이하	0.01 이하	0.3 이하	0.03 이하
II	6.5~8.5	2 이하	5 이상	1000 이하	0.01 이하	0.6 이하	0.05 이하
III	6.5~8.5	4 이하	2 이상			1.0 이하	0.09 이하

데이터의 구축 및 적용

1. Base map 및 정점 데이터 구축 과정

Base map은 국립해양조사원에서 발행하는 1:50000 수치해도에서 추출할 수 있는 수심, 등심선, 등고선, 도로, 해안선 데이터 중 등고선·해안선을 가지고 TIN데이터를 작성하여 육지부분을 표현하였고, 등심선·수심을 IDW 방법을 이용하여 바다부분을 나타내었다. 바다부분은 보다 정확하게 표현하기 위해서 역거리 가중치방법(IDW)을 이용하였다. Base map을 보면 수치지도와 달리 수치해도는 항해와 어업을 목적으로 하기 때문에 육지 부분 데이터가 간단하게 처리되어 있는 것을 알 수가 있다.

정점 속성 데이터는 매년 2월, 5월, 8월, 11월에 조사되어 국립수산과학원에서 제공하는 부산연안지역의 17개 정점데이터를 사용하였다. 하지만 이러한 정점 데이터 중 데이터가 누락되어 제공되는 것이 많은 관계로 본 연구에서는 2001~2005년 중에서 누락된 부분이 가장 적은 매년 5월과 11월의 데이터를 중심으로 정점 데이터를 구축하였으며 구축된 데이터 중 2001~2003년까지는 11개의 정점자료를, 2004~2005년은 14개의 정점자료를 이용해서 분석을 실시하였다.

해역 환경기준에서 정하고 있는 7개 항목 중 국립수산과학원에서 제공하는 정점데이터에는 수소이온농도·화학적 산소요구량·용존 산소량·총질소·총인등 5개의 항목에 대한 데이터를 제공하고 있으며 본 연구에서는 5가지 요인들에 대하여 각 IDW방법과 Kriging방법에 의해서 분석을 실시하였고 그 결과 192개의 결과물은 얻었다. 이중 환경변화가 가장 뚜렷하게 나타나는 총질소와 용존 산소량에 대한 분석 결과 중 매년 5월(총 질소)과 11월(용존 산소량) 달에 해당하는 결과물을 대상으로 살펴보고자 한다.

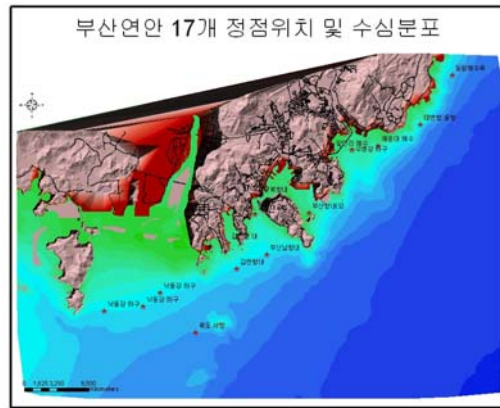


Figure 1. 부산연안 수심 분포 및 17개 정점 위치도

2. 총 질소 분포에 따른 분석 결과

그림 2와 그림 3을 통해 나타난 결과를 살펴보면 부산연안이 각 정점을 기준으로 녹색에서 붉은색으로 분포하고 있는 것을 볼 수가 있는데, 이것은 해역환경기준에서 정하는 등급에 따라 오염도를 나타 낸 것이다. 녹색에 가까운 것이 1등급을 의미하고 붉은색은 3등급에 가까운 수질이라는 것을 의미하고 있다.

2001년의 경우에는 부산항과 광안리 주변을 제외하고는 비교적 양호한 수질 등급을 나타내고 있는 것을 알 수가 있고, 2002년에는 광안리, 수영강 하구 주변의 오염도가 전년에 비해 더 넓게 분포하고 있는 것을 알 수가 있다. 2003년에는 낙동강 하구에서 2급 정도의 오염도가 나타나기 시작 하였고, 광안리 부근은 다소 오염도의 범위가 좁아 졌음을 알 수가 있다. 2004년에는 광안리 일대의 오염도가 1급에 가까워 졌고, 낙동강 하구 부분에서는 오염도 분포가 넓게 나타나는 것을 볼 수가 있다. 2005년에는 2001년의 분포와 비슷한 부산항 부근과 광안리에서 해운대에 이르는 지역에 오염도가 높게 나타났다.

2001~2005년까지의 전체적인 오염지역의 흐름을 보면 부산항, 수영강 하구 주변, 낙동

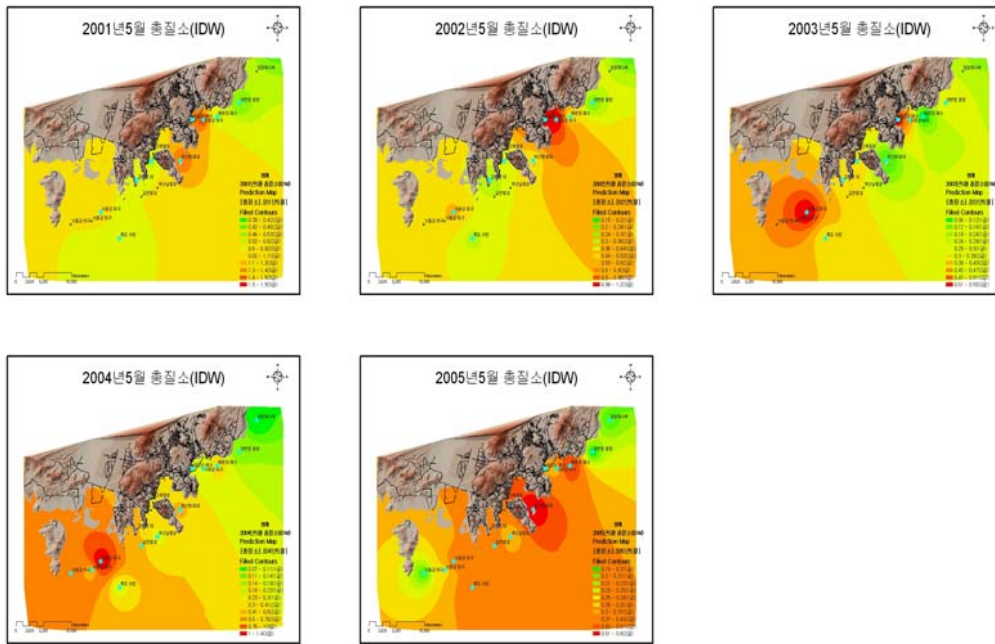


Figure 2. 2001~2005년까지의 총 질소의 변화(IDW)

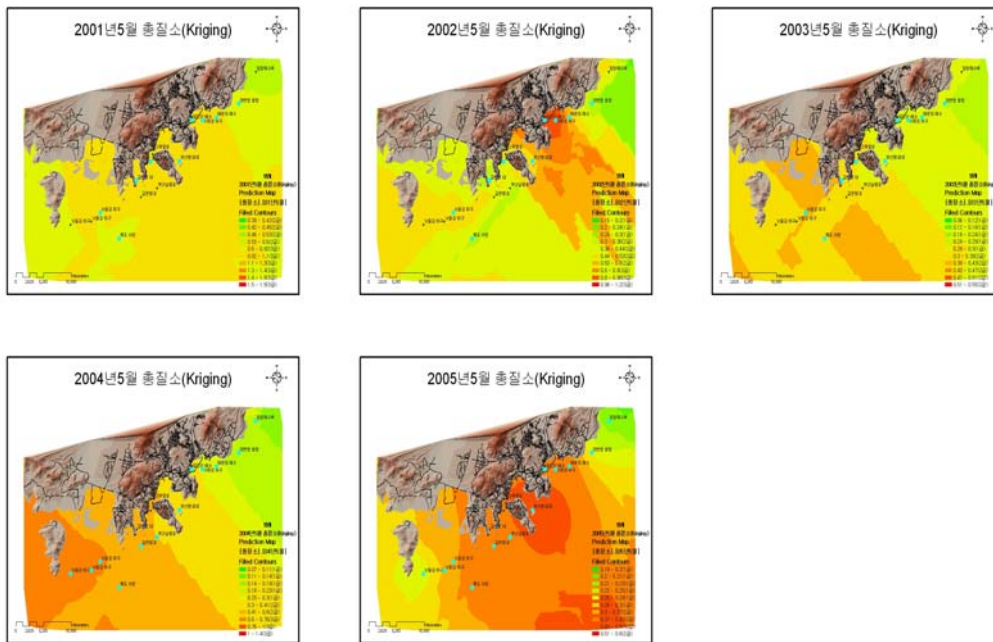


Figure 3. 2001~2005년까지의 총 질소의 변화(Kriging)

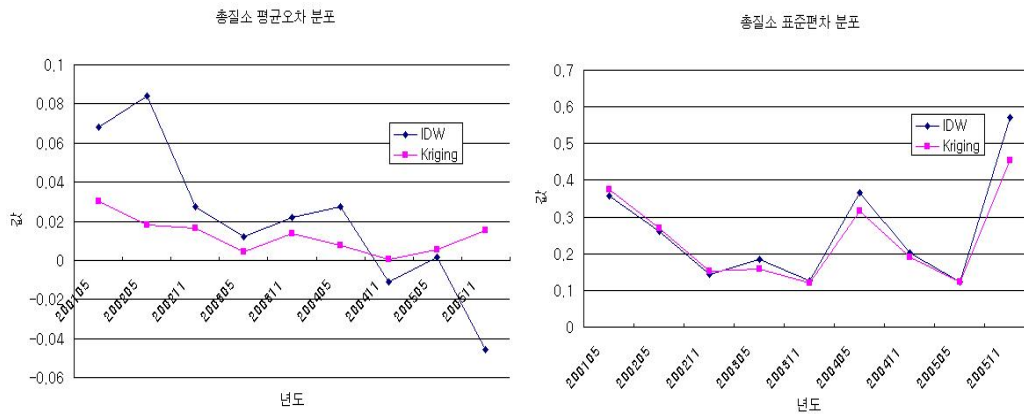


Figure 4. IDW방법과 Kriging방법의 평균오차 및 표준편차 비교 도표(총 질소)

강 하구 지역에서 높은 오염도가 나타나고 있으며 전체적으로 해양오염지역이 넓어지고 있는 실정이다.

IDW · Kriging 두 방법 간의 오차와 편차의 분포를 살펴본 결과 그림 4에서와 같이 오차 분포에서는 큰 차이를 보이고, 표준편차는 비슷한 분포를 나타내고 있으며 공간통계분석을 통한 오염도의 분포는 Kriging방법이 평균오차가 작게 나타남을 알 수 있었다.

2. 용존 산소(DO) 분포에 따른 주제도 분석

그림 5와 그림 6을 살펴보면 2001년의 용존 산소량의 오염도 분포는 부산항과 감천항 주변이 가장 높게 나타나고 있으며, 낙동강 하구와 기장 연안은 오염도가 거의 없다는 것을 알 수 가 있다. 2002년에는 부산연안 전체에 걸쳐서 1급의 수질 상태가 나타나고 있음을 알 수 가 있다. 2003년에는 목도 서방과 광안리 해수욕장 주변이 오염도가 높게 나타나고 있고 낙동강 하구와 대변항 주변은 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다. 2004년에는 낙동강 하구 지역과 부산항 부근에서 가장 높은 오염도를 나타내고 있으며, 감천항 주변이 가장 낮게 나타나고 있다. 2005년에는 감천항 · 부산항 · 해운대 해수욕장 부근의

오염도가 높게 나타나고 있음을 알 수가 있다. 2001~2005년까지의 전체적인 분포 양상을 봤을 때 부산항 부근과 낙동강 하구 지역, 감천항 부근에서 오염도가 높게 나타나는 것을 볼 수가 있다.

2001~2003년의 경우 IDW방법과 Kriging방법에 의한 분석결과가 총 질소의 분석결과와 비슷하게 서로 상이 하게 나타나고 있다. 2002년의 경우는 그림 5와 그림 6에서는 거의 1급수로 차이가 나지 않으나 그림 7의 내용을 살펴보면 표준편차의 차이가 나타나고 있으며 2003년도에는 그 차이가 매우 심하게 나타나고 있다. 또한 평균오차 분포에서는 두 방법 간의 차이가 크게 나타나고 있으며, 총질소와 마찬가지로 용존 산소량에서도 표준편차는 비슷한 분포를 나타내고 있다.

그리고 총 질소와 용존 산소의 전체적인 오염분포도를 봤을 때 기장연안 일대가 상대적으로 수질 상태가 양호하게 나타나는 것은 부산연안의 특성상 동쪽 연안의 급격한 수심 분포 특성에 따른 것이고, 부산항과 수영만 일대의 오염도가 높은 이유는 반폐쇄성 특성을 가지고 있어서 해수 유동이 원활하지 못해서 나타나는 결과로 보인다.

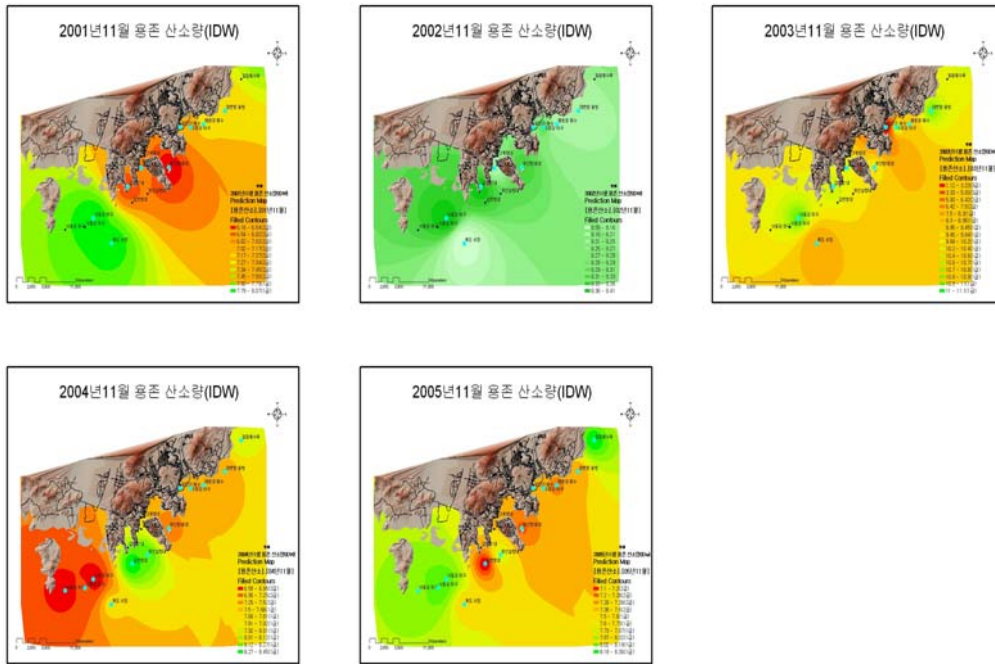


Figure 5. 2001~2005년까지의 용존 산소량의 변화(IDW)

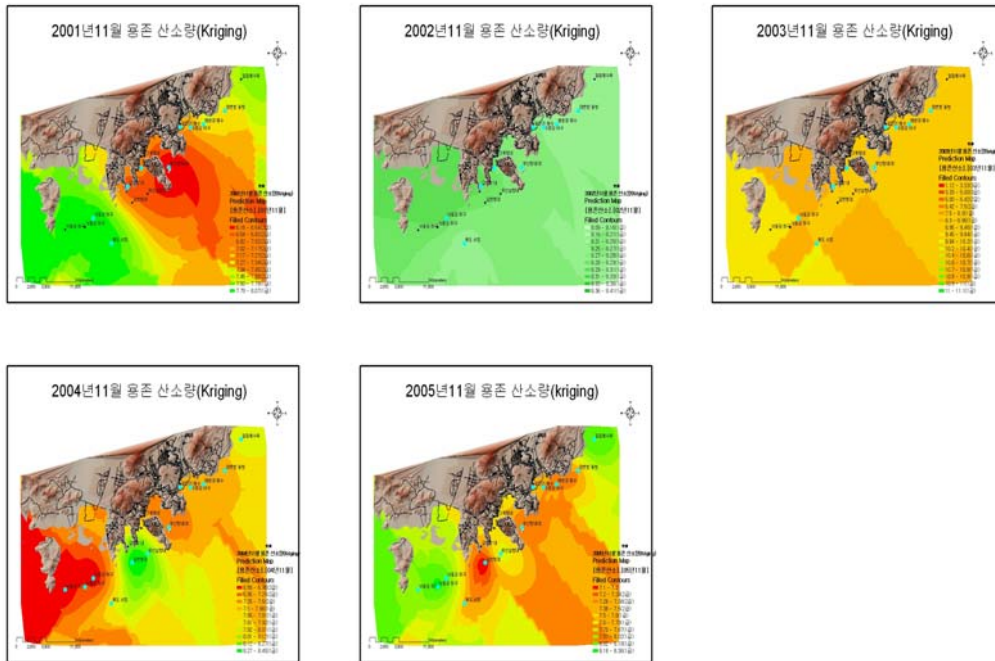


Figure 6. 2001~2005년까지의 용존 산소량의 변화(Kriging)

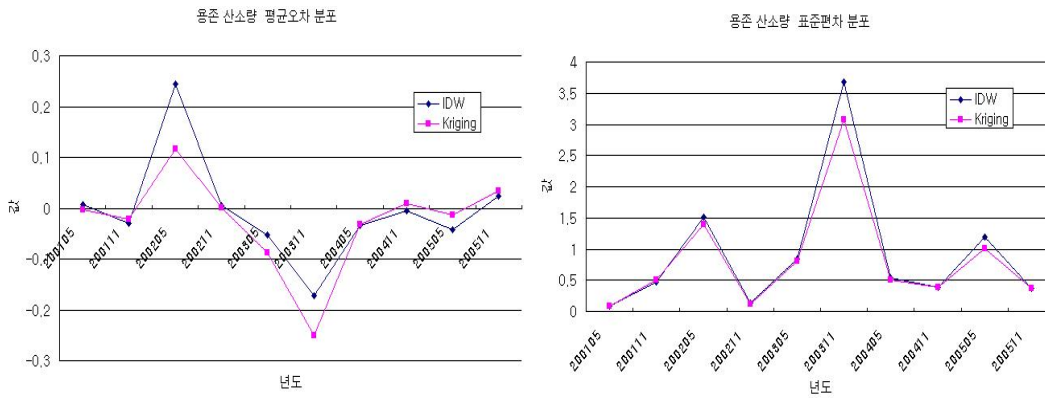


Figure 7. IDW방법과 Kriging방법의 오차 및 편차 비교 도표(용존 산소량)

결론

본 연구에서는 GIS 공간통계분석과 수치해도를 활용하여 해양오염도 분석을 위한 GIS 기본데이터를 구축하고 국립수산과학원에서 제공하는 부산연안지역의 17개 정점 데이터와의 결합을 통하여 년도 별 부산 연안지역의 해양오염도 변화를 공간통계분석을 이용하여 살펴보았다.

부산 연안의 오염도를 확인 해본 결과 연안의 과거와 현재의 오염분포변화 및 양상을 파악하는데 기존에는 사용되지 않았던 GIS의 공간통계분석과 수치해도를 이용하여 시각적 효율성을 통하여 각 요인별로 오염의 분포 양상을 파악할 수 있었고, 전체적인 변화흐름과 비교하여 특정지역 및 지점에서 높은 오염도를 나타내고 있는 것을 알 수 있는데 이는 부산 연안의 해역 환경에 의한 영향이외에 자연환경적인 영향으로 인하여 다르게 나타나고 있다.

해양부분의 공간분석에 적절한 기법이 없어 다양한 방법을 시도 해보았으나 오차 및 편차의 분포를 살펴본 결과 기존 해양관련 연구에서 사용하는 두 가지 방법이 적합하다고 사료되었으며, 본 연구에서 오차와 편차의 분포를 살펴본 결과 Kriging 기법이 좀 더 오차범위가 작다는 것을 알 수가 있었다. 위의 두기법이 아닌 해양환경에 적합한 분석 기법을 개발

하여 실제 해양환경 분석에 적용하는 방법에 대한 연구도 필요하다고 생각된다.

향후 해양환경에 대한 연구를 수행할 때는 지금 국가에서 해양GIS구축의 일환으로 구축하고 있는 연안 해저지형, 연안 수심 분포 등의 기존의 해도에서 보다 더 정확한 자료와 그 외 조류나 해류의 흐름, 조석, 기상 등의 데이터를 확보하여 연구를 수행하는 것이 필요하다고 사료되어지며 연구결과를 검증하기 위해서는 위성영상에서 분석하여 얻을 수 있는 데이터를 이용하거나 여건이 허락한다면 실제 조사를 나갈 때 샘플자료를 더 확보하여 검증을 하는 것이 정확도 검증에 가장 확실한 방법이라 생각된다. **KAGIS**

참고 문헌

김종규, 김정현. 2003. GIS를 이용한 해도정보의 활용. 한국해양공학회지 17(1):61-66.

박종민, 서상현. 2001. 해양공간 특성에 기반을 둔 해양GIS 접근 방안 연구. 한국해양정보통신학회 5(2):183-186.

박종민, 서상현. 2001. 해양GIS 데이터 표준 개발 방안에 관한 연구. 한국해양환경공학회지 4(4):51-60.

장영동, 김진기. 2001. 연안해역의 해양오염예측을 위한 원격탐측 기법 적용 연구. 한국측량학회지 19(2):125-135.

- 최선영, 고와라, 윤왕중, 황세호, 강문경. 2003. 지구통계기법과 GIS를 이용한 연안지역 해수침투 분포 파악. 한국GIS 학회 11(3):251-260.
- 정희균, 서상현. 2003. 한국의 해양GIS 추진 방향과 현황 그리고 응용 사례. 동아대학교 건설기술연구소 연구논문집 27(1):45-56.
- 이남도. 2004. 통계분석 기법을 이용한 군산 연안해역의 수질 특성 평가. 군산대학교 대학원 석사학위 논문. 4-7쪽.
- 최희정. 2003. GIS와 다기준 분석법(MCA)을 활용한 연안지역 평가방법 연구. 경희대학교 대학원 석사 학위 논문. 16-17쪽.
- 리영우. 2002. GIS를 이용한 대기오염의 공간분석. 인천대학교 대학원 석사 학위 논문. 4-16쪽.
- 최선영. 2004. GIS의 통계적 공간분석을 이용한 해수침투 분포 양상 파악. 전남대학교 대학원 석사 학위 논문. 7-8쪽.
- 신성교. 2003. 부산연안 수질환경 실태 분석 및 해양환경 관리방안 연구. 21~23쪽.
- 부산광역시. 2005. 부산광역시 환경 보전 종합계획 -현황편-. 186~200쪽.
- 해양수산부. 2006. 해양환경조사연보.
- Basu, A., and S. Malhotra. 2002. Error detection of bathymetry data by visualization using GIS. -ICES journal of Marine Science 59: 226-234.
- S. Zahra Pourvakhshouri and Shattri Mansor. 2003. Decision support system in oil spill cases(literature review). Disaster Prevention and Management 12(3): 217-221.
- A. Suryanarayana, V.S. Amit. 2005. GIS analysis for the marine environmental data of Karnataka coast. Environment International.
- ESRI. 2004. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. 