

GIS를 이용한 연안수질의 시공간적 분포 특성에 대한 연구

조홍래* · 정종철**

A Study on Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Coastal Water Quality Using GIS

Hong-Lae Cho* · Jong-Chul Jeong**

요 약

연안수질의 시공간적 분포특성을 살펴보기 위하여 1997년부터 2004년 사이에 우리나라 연안해역에서 측정된 수질자료(chlorophyll-a, pH, DO, COD, SS, dissolved inorganic nitrogen, dissolved inorganic phosphorous, salinity, temperature)에 대해 GIS 공간분석 기법을 적용하였다. 본 연구에서 사용된 수질자료는 공간상 모든 위치에 그 값이 존재하나, 실제 값의 수집은 고정관측 위치에서만 수행된다. 따라서 공간적으로 연속적으로 존재하는 연안수질의 분포 특성을 파악하기 위해서는 미관측 지점의 값을 예측할 필요가 있다. 본 논문에서는 공간분석 기법인 IDW를 연안수질 측정자료에 적용하였으며, IDW 기법의 적용 가능성을 평가하였다. 또한 IDW 공간보간을 적용한 후, 전국 연안을 46개 구간으로 구분하여 각 구간의 수질특성을 GIS 시각화 기법을 이용하여 분석하였다. 적용결과 공간보간 및 GIS 기법이 다년간 광범위한 범위에서 수집된 수질자료로부터 시공간적 분포 특성을 파악하는데 유용함을 확인할 수 있었다.

주요어 : 수질, 공간보간, 시공간적 경향, IDW, GIS

ABSTRACT : In order to examine spatio-temporal characteristics of coastal water quality, we applied GIS spatial analysis to the water quality data collected from observation points located on Korean coastal area during 1997~2004. The water quality parameters measured included: chlorophyll-a, pH, DO, COD, SS, dissolved inorganic nitrogen, dissolved inorganic phosphorous, salinity, temperature. The water quality data used in this paper was obtained only

* 서울대학교 환경대학원 박사과정 (dshift1@snu.ac.kr)

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

at selected sites even though they are potentially available at any location in a continuous surface. Thus, it is necessary to estimate the values at unsampled locations so as to analyze spatial distribution patterns of coastal water quality. Owing to this reason, we applied IDW(inverse distance weighted) interpolation method to water quality data and evaluated the usefulness of IDW method. After IDW interpolation method was applied, we divided the Korean coastal area into 46 sections and examined spatio-temporal patterns of each section using GIS visualization technique. As a result of evaluation, we can know that IDW interpolation and GIS are useful for understanding spatial and temporal distribution characteristics of coastal water quality data which is collected from a wide area for many years.

Keywords : water quality, spatial interpolation, spatiotemporal patterns, IDW, GIS

1. 서 론

연안수질을 합리적으로 관리하기 위해서는 무엇보다 연안수질의 시·공간적 분포 특성에 대한 명확한 이해가 선행되어야 한다. 연안수질의 시·공간적 분포 특성에 대한 연구가 필요한 이유는 먼저 연안수질 중점 관리지역을 도출함에 있어 계절적, 공간적 분포 특성이 고려되어야 한다는 점에서 찾을 수 있다. 예를 들어 우리나라의 광범위한 모든 연안에 대하여 동일한 수준의 관리 정책을 수립하는 것은 매우 비효율적인 일이 될 것이다. 또한 시간적으로 수질이 악화되지 않는 계절과 수질이 악화된 계절 모두에 동일한 관리 방법을 사용하는 것도 불합리한 접근방법이라 할 수 있다. 따라서 관리 대상지역 및 시기와 관리방법을 선정함에 있어 수질의 시·공간적 분포 특성의 이해는 매우 중요한 일이라 할 수 있다. 이와 함께 연안수질의 시·공간적 분포 특

성은 수질 관리정책의 성과를 평가함에 있어 기초적인 자료를 제공할 수 있다. 최근 들어 연안수질에 대한 관심이 증가함에 따라 정부는 다양한 방식의 연안유역관리 방법을 제시하고 있다. 그러나 이러한 방법이 과연 효과적인지, 그렇지 않은지를 판단하기 위해서는 관리정책 적용과 함께 해당 연안유역의 시·공간적 수질 특성 변화에 대한 연구가 병행되어야 하나, 현재 이에 대한 연구는 미비한 상황이다. 수질의 시공간적 변화 특성에 대한 국내외 연구로는 김학균 등(2001), 강양순 등(2002), 정재원과 조정구(2003), Boyer 등(1997), Medina-Gomez와 Herrera-Silveira(2003), Caccia와 Boyer(2005)의 연구가 있다. 지금까지 수행된 수질의 시공간적 특성에 대한 대부분의 연구는 공간적으로 좁은 범위 내에서 수집된 수질자료를 대상으로 시간적 변동 그래프, 상관분석, 주성분분석 등의 통계적 방법을 적용한 후 이로부터 시공간적 분포 특성을 분석하는 방식을 따르고 있다. 그러나 이상

의 통계적 기법이 비록 수질 특성에 대해 유용한 정보를 제공하나, 수질이 측정된 정점 자료만을 대상으로 하고 있어 미관측 지점을 포함한 전체 해역에 대한 수질의 특성을 파악하는데 한계를 갖게 된다. 특히 우리나라 전체 연안과 같이 넓은 공간적 범위에서 수질의 계절, 공간적 변동 특성을 파악하기 위해서는 시공간적으로 많은 측정자료에 대한 분석이 필요하게 되는데, 정점 위치에 대한 통계값만을 대상으로 분석을 실시할 경우에는 수질의 시공간적 변동 특성을 파악하는데 한계가 있을 것으로 판단된다.

현재 국립수산과학원에서는 연안해역의 중요 지점을 수질측정 지역으로 선정하고 1997년부터 2월, 5월, 8월, 11월 등 일년에 4번에 걸쳐 각종 수질항목에 대한 측정을 실시하고 있다. 정점에서 측정된 이 측정자료는 연안수질의 시·공간적 특성을 분석함에 있어 매우 유용하게 사용될 수 있으나, 아직 그 사용은 활성화되지 않은 상태이다. 연안해역에서 측정된 수질정점자료가 활발하게 이용되지 못하는 이유는 측정자료가 기본적으로 정점 위치만을 대표하고 있어 비록 공간적으로 분포하는 특성을 갖고 있으나 전체 연안해역에서의 수질 분포 특성을 파악하기에는 부족한 면이 있기 때문이다. 이와 함께 시간적으로도 방대한 양의 자료가 생산되고 있으나 이를 합리적으로 분석할 만한 분석 방법론이 아직 개발되어 있지 못한 상황이다.

본 논문에서는 연안수질의 시·공간적 분포 특성을 파악하기 위하여 정점 위치에서 측정된 수질측정 자료를 합리적으로 이용하는 방법을 제시하고자 한다. 먼

저 정점자료로부터 공간적인 수질 분포 특성을 파악하기 위하여 공간보간 기법을 이용하여 정점자료로부터 공간적으로 연속적으로 분포된 수질자료를 생성하였으며, 이를 GIS 분석 기법과 시각화 방법을 이용하여 시계열적인 자료로 확장할 수 있는 방법을 개발하였다.

2. 공간보간

환경 분야에서 사용되는 많은 데이터는 공간상 연속적으로 분포하는 특징을 갖는다. 여기서 공간상 연속적으로 분포한다는 것은 공간상의 모든 지점에서 그 값이 존재한다는 의미로 해석되며 강수량, 기온, 고도, 오염농도 등이 그 구체적인 예라고 할 수 있다. 공간상 연속적으로 존재하는 이러한 데이터를 공간분석 분야에서는 공간통계 데이터(geostatistical data)라고 호칭한다. 공간통계 데이터가 필요할 때, 가장 좋은 방법은 모든 지점에서 필요로 하는 값을 획득하는 것이겠으나 비용과 시간을 고려할 때 모든 지점에서 원하는 값을 얻는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 많은 경우 특정 지점을 선정하여 관측값을 얻은 후 이를 이용하여 미관측 지점의 값을 예측하는 방법이 사용되며, 이러한 작업과정을 우리는 공간보간(spatial interpolation)이라 한다. 대표적인 공간보간 기법으로는 IDW(Inverse Distance Weighted), 스플라인(spline), 크리깅(kriging), 경향면 분석(trend surface model) 등을 예로 들 수가 있다. 지금까지 환경분야의 자료에 대해 이상의 공간보간 기법을 이용하

여 미관측지점의 값을 예측하려는 다양한 연구가 수행되었다(Kurtzman과 Kadmon, 1999; 최용규, 2001; Jang 등, 2003; Lee, 2003). 해양자료에 대한 공간보간 연구는 다른 분야에 비하여 상대적으로 적은 편이나 최근 Taylor 등(2004)이 범지구적 차원에서 해수표면 온도 측정 데이터에 대해 델로니 삼각형(Delaunay triangulation) 및 격자 평균화(grided-averaging) 기법을 적용하여 공간보간의 정확성과 시각화 성능을 평가하였다.

본 연구에서는 대표적인 공간보간 기법인 IDW를 이용하여 미관측지점의 수질을 예측하였다. IDW의 기본 가정은 공간적으로 인접한 지점 사이의 값은 공통된 위치 요인으로 인하여 유사성을 갖는 반면에 두 지점 사이의 거리가 증가할수록 이러한 유사성은 상대적으로 감소하게 된다는 것에 기초한다. IDW에 대한 기본 수식은 식 (1)과 같이 표현된다(Johnston et al., 2001).

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad \text{식 (1)}$$

여기서 $Z(s_0)$ 는 위치 s_0 에서 우리가 예측하고자 하는 값을 나타내며, N 은 관측지점의 수, λ_i 는 관측지점 s_i 에 사용할 가중치, $Z(s_i)$ 는 관측지점 s_i 에서의 관측값을 나타낸다. 식 6에 포함된 가중치 λ_i 는 거리가 증가함에 따라 그 값이 줄어드는 모습으로 식 (2)와 같이 표현된다.

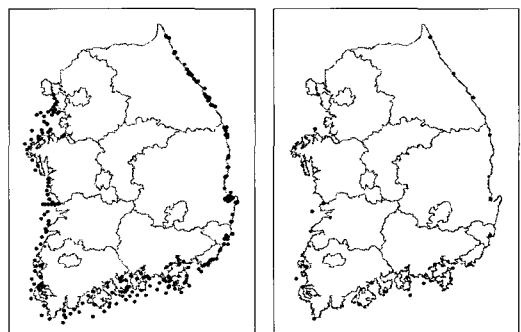
$$\lambda_i = d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p} \quad \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad \text{식 (2)}$$

식 (2)에서 d_{i0} 는 관측지점 s_i 와 예측지점 s_0 사이의 거리를 나타내며, 지수에 포함된 p 는 거리에 따른 가중치의 변화 정도를 결정한다.

3. 연구방법 및 데이터

3.1 사용데이터

국립수산과학원에서는 우리나라 연안해역에 정점 수질관측지점을 선정하고 각종 수질항목을 주기적으로 측정하고 있다. 정점 수질측정 지점의 공간적 위치분포는 [그림 1]과 같다. 수질 측정은 계절 특성을 반영하기 위해 매년 2, 5, 8, 11월에 측정되며, 측정항목으로는 chl-a, pH, DO, COD, SS, TN, DIN(dissolved inorganic nitrogen), NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N, TP, DIP(dissolved inorganic phosphorous), salinity, temperature 등이 포함된다. 본 논문에서는 연안 수질 측정 지점에서 1997부터 2004년 사이에 관측된 수질항목별 총 6634개의 측정 자료를 이용하여 공간분석을 실시하였다.



[그림 1] 해양수질 측정지점 분포도 (좌: 전체 측정지점, 우: 검증에 사용된 측정지점)

3.2 상관분석

공간분석을 실시하기 앞서 2000~2003년 사이에 측정된 총 3911개의 해양 정점자료를 이용하여 상관분석을 실시하고 이로부터 공간분석에 이용될 수질항목을 선정하였다. 그 결과는 <표 1>과 같다. <표 1>에서 N은 상관분석에 사용된 데이터의 개수를 나타내는 것으로 수질항목에 따라 다른 값을 보여주는데, 이는 일부 수질항목의 경우 측정값이 누락된 경우가 있어 상관분석에 서로 다른 개수의 데이터가 사용되었기 때문이다. <표 1>에서 제시된 상관관계수 중 질소 성분과 해당하는 5가지 NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, DIN, TN은 상호간

에 비교적 높은 상관관계를 보여준다. 따라서 수질항목 상호간의 관계를 분석함에 있어 질소 성분과 관련되는 5가지 항목을 모두 사용하는 것보다 이를 대표할 수 있는 성분을 선택하여 분석하는 것이 분석의 효율성을 위해 도움이 될 것으로 판단된다. 이를 위하여 질소 성분 상호간의 상관관계수에 대한 통계값을 계산하였고 이중 상관관계수 평균이 가장 높은 DIN을 대표항목으로 선정하였다. <표 2>는 질소성분 상호간의 상관관계수에 대한 통계값을 보여준다. 인에 대해서도 동일한 방법으로 DIP과 TP가 비교적 높은 0.58의 상관관계수를 갖고 있어, 상대적으로 데이터 누락이 적은 DIP를 대표항목으로 선정하였다.

<표 1> 수질항목간 상관분석 결과

	N	TEMP	SAL	pH	DO	COD	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN	TN	DIP	TP	SS	Chl-a
TEMP	3,911	1.00													
SAL	3,910	-0.28	1.00												
pH	3,909	0.11	0.18	1.00											
DO	3,910	-0.50	0.17	0.06	1.00										
COD	3,908	0.07	-0.31	-0.05	0.09	1.00									
NH ₄ -N	3,836	NS	-0.32	-0.09	-0.06	0.24	1.00								
NO ₂ -N	3,805	NS	-0.35	-0.15	-0.18	0.11	0.30	1.00							
NO ₃ -N	3,877	-0.07	-0.56	-0.22	-0.05	0.18	0.37	0.42	1.00						
DIN	3,802	-0.06	-0.56	-0.21	-0.07	0.23	0.69	0.48	0.92	1.00					
TN	1,957	NS	-0.52	-0.11	-0.08	0.19	0.54	0.50	0.71	0.73	1.00				
DIP	3,835	NS	-0.21	NS	-0.09	0.26	0.32	0.25	0.28	0.34	0.40	1.00			
TP	1,958	-0.11	-0.21	NS	NS	0.12	0.29	0.27	0.28	0.34	0.26	0.58	1.00		
SS	3,905	-0.14	-0.28	-0.18	0.06	0.11	0.12	0.11	0.25	0.22	0.19	0.11	0.35	1.00	
Chl-a	3,802	0.21	-0.32	0.08	NS	0.30	0.16	0.10	0.16	0.18	0.18	0.18	0.06	0.05	1.00

N: number of samples, NS: not significant (유의수준 0.05), TEMP: Temperature, SAL: Salinity

<표 2> 질소성분 상호간의 상관계수 통계값

	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN	TN
최 소	0.30	0.30	0.37	0.48	0.50
최 대	0.69	0.50	0.92	0.92	0.73
평 균	0.48	0.43	0.61	0.71	0.62

3.3 IDW 파라미터 선정

IDW를 적용하기에 앞서 식 (2)에 포함된 파라미터 p(거리감쇠 효과)와 N(관측점 수)의 적정값을 선정하기 위한 검증을 수행하였다. p에 대해서는 0.5~5 범위 내에서 값을 0.5씩 증가하여 총 10가지 경우를, N의 경우에는 1~18 범위 내에서 값을 1씩 증가하여 총 18 가지로 구분하여 각 수질항목에 대해 정확도 검증을 실시하였다. 정확도 검증은 수질측정 자료 중 누락값이 가장 적은 2003년 8월 자료를 이용하여 수행하였으며, 전체 247개 측정지점을 90%에 해당하는 222개 지점과 10% 해당하는 25개

지점으로 구분하여 각각 예측과 검증에 적용하였다. 검증에 사용된 25개 지점은 무작위로 선정하였으며 선정된 측정지점의 위치는 [그림 1]의 오른쪽과 같다. 검증과정을 통해 선정된 각 수질항목별 파라미터 p, N의 값은 <표 3>과 같다.

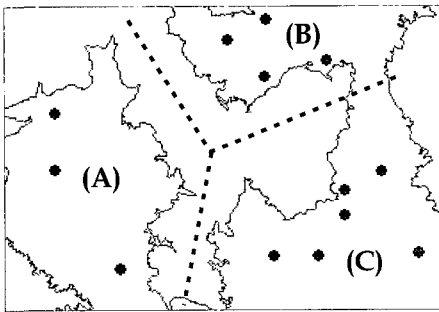
3.4 공간분석

공간보간은 1 km 간격으로 수행하였으며, 관측지점 탐색반경의 최대 크기는 30 km로 부여하였다. 따라서 미관측지점에서부터 30 km 안에 관측점의 개수가 지정된 것보다 적게 존재하여도 더 이상 관측점을 탐색하지 않고 30 km 안에 존재하는 관측점만을 사용하여 공간보간을 수행하였다. 이와 함께 육지로 인해 발생하는 공간적 이질성을 반영하여 공간보간을 실시하였다. 관측지점이 가깝게 위치하였다 해도 [그림 2]와 같이 육지로 인하여 미관측지점과 관측지점이 서로 공간적으로 분리될 경우 공간적 이질성으로 인하여 미관측지점의 값을 예측하는 과정에 육지 맞은편에 있는 관측지점을 사용하는 것은 합당하지 않다. 따라서 본 논문에서는 육지로 인하여 정점자료가 공간적으로 분리될 경우 관측값을 공간보간 과정에 사용하지 않도록 지정하였다. 예를 들어, [그

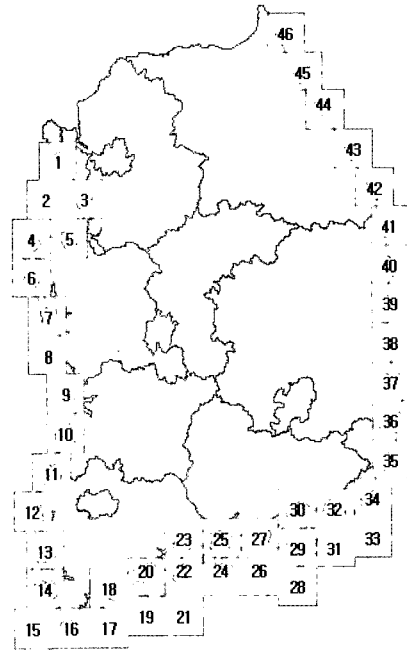
<표 3> 검증을 통해 선정된 수질항목별 IDW 파라미터 값

	p	N
TEMP	1.5	11
SAL	0.5	3
pH	0.5	6
DO	0.5	7
COD	0.5	12
DIN	0.5	2
DIP	3.5	8
Chl-a	0.5	2
SS	3	3

림 2]에서 (A), (B), (C) 지점은 서로 거리 상 가깝게 위치하나 육지로 분리되어 있어 공간보간 과정에서 다른 지역에 포함된 관측값을 이용하지 않게 된다. 공간적 이질성은 [그림 2]에 표시된 점선과 같이 탐색 경계면을 라인 데이터로 지정하는 방법을 사용하였다.

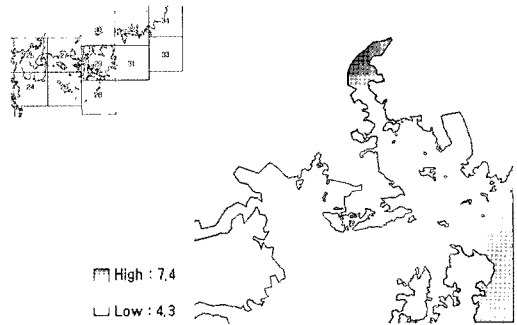


[그림 2] 공간적 이질성을 반영하기 위한 탐색 경계면 지정



[그림 3] 수질 평가를 위한 해역 구분

본 연구에서는 우리나라 전체연안에 대하여 공간보간을 1 km 크기의 단위로 수행하였다. 그러나 1 km 크기의 격자에서 실시한 공간보간 결과의 양이 매우 방대하여 수질항목의 시·공간적 분포 특성을 파악하는데 어려움이 있다. 이에 따라 본 연구에서는 시·공간적 수질변화 모습을 비교적 쉽게 평가하기 위하여 우리나라 연안을 [그림 3]에서와 같이 30 km × 30 km의 총 46개 구역으로 구분한 후 각 구역에 포함된 1 km 크기의 공간보간 결과에 대한 평균값의 변화를 살펴보았다. [그림 4]는 이에 대한 예시로 마산만에 대한 2002년 8월 chlorophyll-a의 결과를 보여준다. [그림 4]에서 마산만 연안에 가깝게 위치한 지역일수록 chlorophyll-a가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다.



[그림 4] 30번 구역에서 Chl-a에 대한 공간보간결과 (2002년 8월)

4. 결과분석

각 수질항목에 대하여 이상의 분석방법을 적용한 결과는 [그림 5]와 같다. [그림 5]는 [그림 3]에서 제시된 각 구역에 포함

된 1 km × 1 km 크기의 단위셀 900개에 대한 수질항목별 평균을 시간 및 공간 변화에 따라 나타낸 것이다. [그림 5]에서 점으로 표시된 구역은 관측값이 없어 공간 보간을 실시하지 못한 지역을 나타낸다.

[그림 5]로부터 각 수질항목이 공간적 위치와 시간적 변화에 따라 다양하게 변동하고 있음을 확인할 수 있다. 공간적 변화에 있어서는 대상 지점이 서해, 남해, 동해인지에 따라 분포 특성이 크게 다른 모습을 보여주며, 세부적으로는 각 항목별로 서로 인접한 지역 사이에는 유사한 분포 특성을 나타낸다. 시간적 분포에 있어서는 동일 구역에 대해 계절적 변화에 따라 일정한 경향을 갖고 변동되는 모습을 보여주고 있으며, 동일 계절에 있어서는 연도의 변화에 큰 영향을 받지 않고 비슷한 모습을 보여주고 있음을 확인할 수 있다. 구체적으로 각 수질항목의 시·공간적 변화 특성을 살펴보면 다음과 같다.

- Chlorophyll-a: 계절적 변화 특성을 확인할 수 있다. [그림 5(a)]로부터 2월의 경우 전 해역에 걸쳐 비교적 낮은 수치를 보이던 값이 5월, 8월을 걸쳐 상승하여 8월에 가장 높은 값을 보여주는 것으로 분석되었으며, 이후 11월에는 감소되는 모습을 보여준다. 공간적으로는 남동해안에 걸쳐있는 29번 구역으로부터 36번 구역 사이에서 8월에 가장 높은 수치를 나타내었으며, 특히 마산과 창원 사이에 위치한 마산만을 나타내는 30번 구역에서 매우 높은 Chlorophyll-a 분포 특성을 보여주었다. 서해안의 경우에는 9(군

산시), 10(새만금), 11(부안군)번 구역에서 비교적 높은 값을 보여주었으며, 특히 2003년의 경우 이 지역에서 매우 높은 Chlorophyll-a가 관측되었음을 확인할 수 있다.

- COD: [그림 5(b)]는 COD의 시·공간적 분포특성을 보여준다. 서해의 경우 COD는 8, 11월에 비하여 2, 5월에 높은 모습을 보여주었으며, 특히 인천강화를 나타내는 1번 구역으로부터 평택을 나타내는 5번 구역 사이에 2월, 5월에 상대적으로 높은 값을 보여주었다. 남해안의 경우에는 동해와 서해에 비해 상대적으로 높은 값을 보여주었으며, 특히 5, 8월에 높은 수치가 나타나는 것으로 분석되었다. 공간적으로 보성군에서 남해군 사이의 20~25번 구역, 마산시에서 부산시 사이의 30~34번 구역에 걸쳐 상대적으로 높은 값을 보여주었다. 동해의 경우는 남해와 인접한 울산시에서 포항시 사이의 35~37 구역에서 높은 값을 나타내었으나, 서해, 남해에 비해 계절적 변동이 적은 모습을 보여주었다.
- Temperature: [그림 5(c)]는 수온의 시·공간적 분포특성을 보여준다. 수온자료는 계절적 변동을 명확히 보여준다. 모든 연안에서 여름철 8월의 온도가 가장 높음을 알 수 있으며, 동일 시기의 경우 공간적으로는 남해, 동해, 서해의 순서로 수온이 높음을 확인할 수 있다.

SS: [그림 5(d)]는 SS의 시·공간적 분포특성을 보여준다. SS는 공간적으로 확연히 분리된 모습을 보여준다. 모든 시기에 걸쳐 남해군을 나타내는 24, 25번 구역을 중심으로 서쪽으로 갈수록 높은 농도를 보여주며, 동쪽으로 갈수록 농도가 낮아짐을 알 수 있다. 계절적으로는 서해안의 경우 5월, 8월에 비하여 2월, 11월에 SS 농도가 높아지는 것으로 분석되었으며, 남해, 동해안의 경우 계절적 변동이 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다.

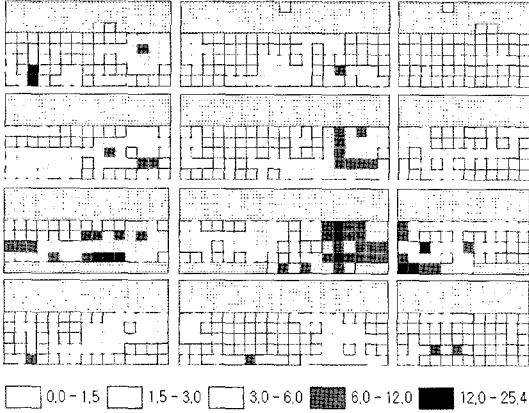
Salinity: [그림 5(e)]는 염분의 시·공간적 분포특성을 보여준다. 염분농도의 경우 공간적으로 서해안이 남해, 동해안에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 분석되었으며, 시간적으로는 여름철 8월에 모든 해역에서 다른 시기에 비해 낮은 분포를 보여주었다.

pH: [그림 5(f)]는 pH의 시·공간적 분포특성을 보여준다. pH는 다른 수질항목에 비하여 시·공간적 특성을 명확히 보여주지 못하였다. 대부분의 해역에서 시간적 분포와 상관없이 평균적으로 pH 8.0~8.2 사이의 분포를 나타내었다. 공간적 분포에서는 서해안 지역이 남해안, 동해안 지역에 비하여 상대적으로 낮은 값들이 밀집되어 있는 모습을 보여주며, 남해안의 경우 강진군(18번)에서부터 남해군(25번)에 이르는 지역이 2000년도 이후

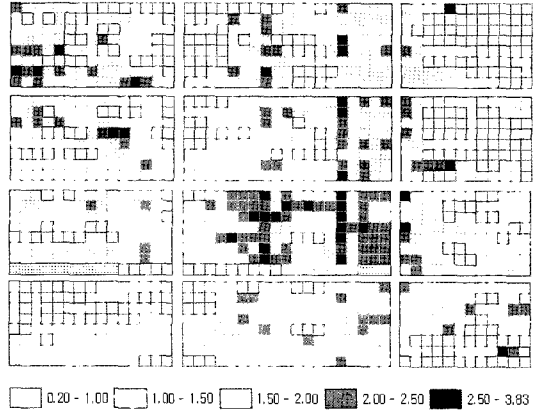
pH 값이 다른 지역에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다.

- DO: [그림 5(g)]는 DO의 시·공간적 분포특성을 보여준다. DO는 전 해역에 걸쳐 여름철이 될수록 전체적으로 낮아지는 모습을 보여준다. 공간적 특징으로는 2월의 경우 25번 남해군을 기준으로 서쪽으로 갈수록 상대적으로 DO 농도가 높은 것으로 분석되었다.
- DIN: [그림 5(h)]는 DIN의 시·공간적 분포특성을 보여준다. DIN은 계절적 변동보다 공간적 변동이 큰 것으로 분석되었다. 경기, 수도권 연안을 나타내는 1~5번 구역과 마산만으로 부터 울산시에 이르는 30~35번 구역 사이가 상대적으로 높은 DIN 농도를 보여준다. 계절적 특이성으로는 마산만과 울산시 사이에서 여름철에 상대적으로 높은 농도가 예측되었으나, 다른 지역의 경우 주목할 만한 계절적 특이성이 없는 것으로 분석되었다.
- DIP: [그림 5(i)]는 DIP의 시·공간적 분포특성을 보여준다. DIP의 경우 DIN과 비슷한 모습으로 계절적 변동보다 공간적 변동이 큰 것으로 분석되었다. 공간적 특이성으로는 DIN과 비슷한 양상으로 경기, 수도권 연안과 마산만과 울산시 사이에서 상대적으로 높은 농도를 보여주었다.

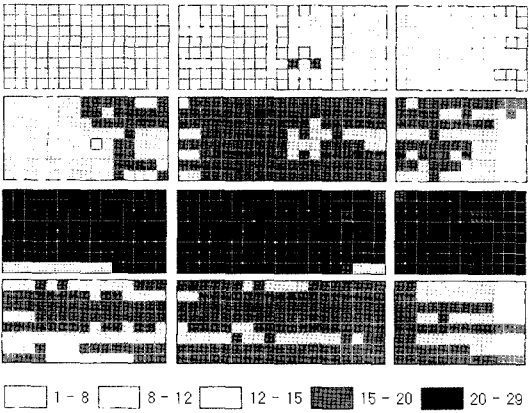
(a) Chlorophyll-a ($\mu\text{g/L}$)



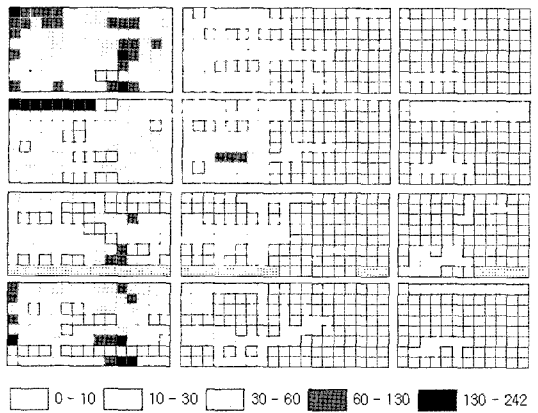
(b) COD (mg/L)



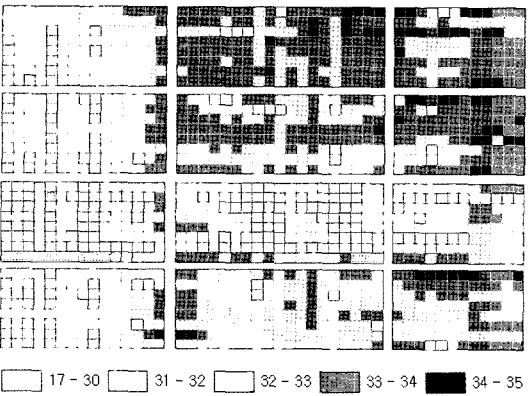
(c) Temperature ($^{\circ}\text{C}$)



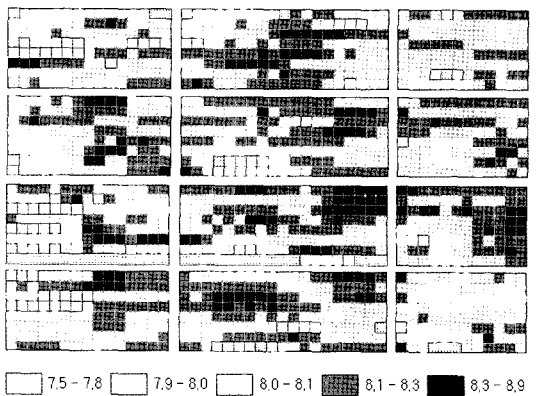
(d) SS (mg/L)

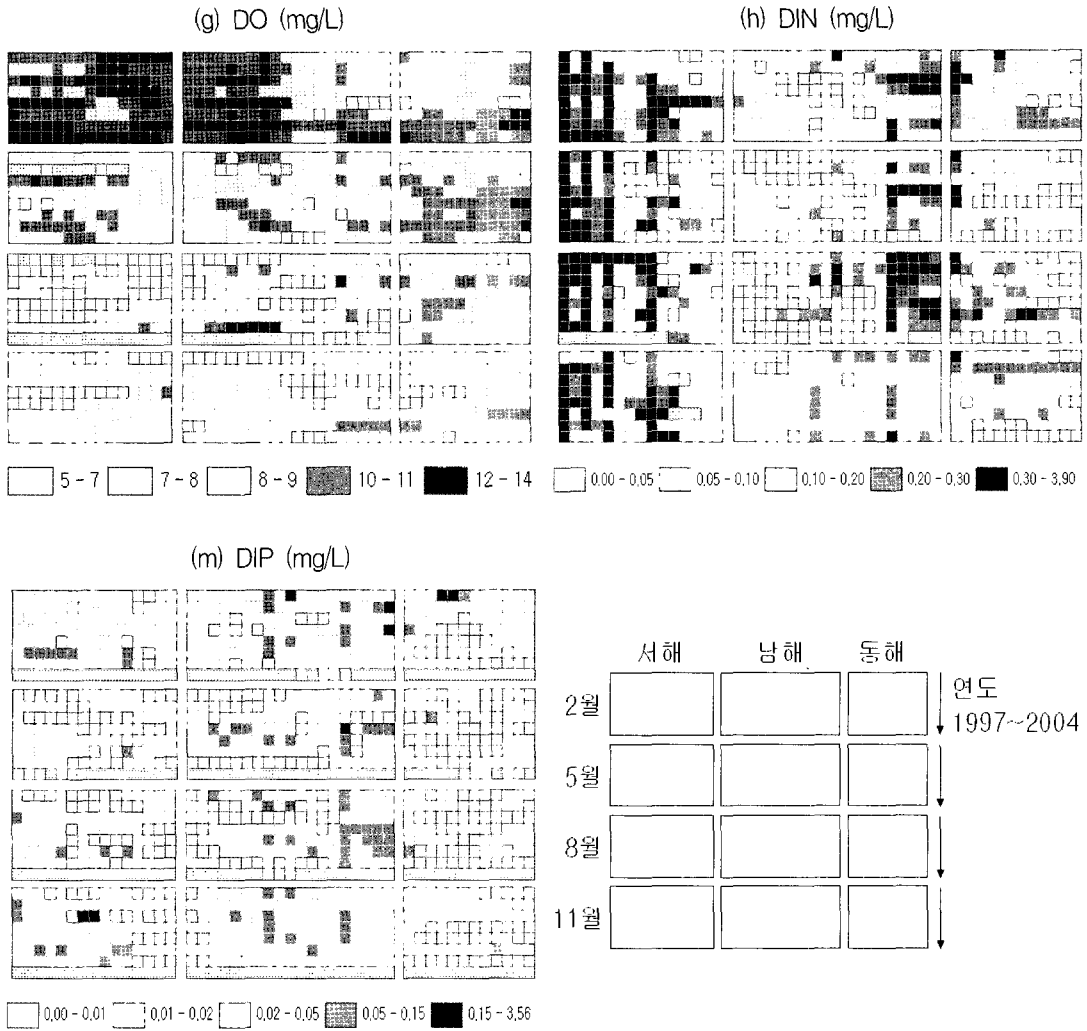


(e) Salinity (ppt)



(f) pH





[그림 5] 수질항목의 시·공간적 변화

5. 결 론

본 논문에서는 해양정점 수질측정자료를 이용하여 수질항목의 시·공간적 분포 특성을 분석할 수 있는 방법론과 제시된 방법론을 각 수질항목에 적용한 예측결과에 대해 평가를 실시하였다. 이상의 과정을

통해 해양수질의 시·공간적 분포특성을 분석함에 있어 GIS 공간분석 및 시각화 기법이 유용하게 사용될 수 있음을 확인하였다. 특히 해양 정점 자료와 같은 점 측정 자료를 통해 미관측 지점을 포함한 연안해역의 2차 공간에서 수질변화 경향을 해석함에 있어 GIS가 중요한 도구로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 연안수질 특성 파악을 위하여 IDW 기법을 이용하여 공간보간을 실시하였는데, 향후 이를 포함하여 크리깅, 스플라인, 경향면 분석(trend surface analysis) 등에 대한 적용 가능성 평가와 각 공간보간 기법을 연안수질에 적용할 경우 요구되는 공간보간 규모, 파라미터 선정에 대한 연구가 함께 수행될 필요가 있을 것으로 보인다. 이와 함께 시공간적으로 변동하는 연안수질 자료에 대한 GIS 분석 및 시각화 기법에 대한 연구가 병행될 경우 연안수질의 시공간적 분포 특성을 파악함에 있어 유용한 도구로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 강양순, 김귀영, 심정민, 성기탁, 박진일, 공제열, 2002, 영일만 수질의 시공간적 변동, 한국수산학회지, Vol. 35, No. 4, pp.431-437
- 김학균, 정창수, 임월애, 이창규, 김숙양, 윤성화, 조용철, 이삼근, 2001, 한국연안의 *Cochlodinium polykrikoides* 적조 발생과 변천, 한국수산학회지, Vol. 34, No. 6, pp.691-696
- 정재원, 조정구, 2003, 서낙동강의 계절별 식물플랑크톤 군집구조 및 특성에 관한 연구, 부산광역시 보건환경연구원보, Vol. 13, No. 2, pp.69-89
- 최용규, 2001, Kriging 기법을 이용한 면적평균 강우량 산정, 충남대학교 석사학위 논문
- Boyer, J.N., Fourqurean, J. W., Jones, R. D., 1997, Spatial characterization of water quality in Florida Bay and Whitewater Bay by multivariate analyses: zones of similar influence, *Estuaries*, Vol. 20, pp.743-758.
- Caccia, V. G., Boyer, J. N., 2005, Spatial patterning of water quality in Biscayne Bay, Florida as a function of land use and water management, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 50, No. 11, pp.1416-1429
- Jang, J., Hong, T., Namkung, P., 2003, Spatial Data Analysis Using the Kring Method, *The Korean communications in Statistics*, Vol. 10, No. 2, pp.423-432
- Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K., Lucas, N., 2001, *Using ArcGIS Spatial Analyst*, ESRI Press
- Kurtzman, D., Kadmon, R., 1999, Mapping of Temperature Variables in Israel: a Comparison of Different Interpolation Methods, *Climate Research*, Vol. 13, pp.33-43
- Lee, E., 2003, A Space Model to Annual Rainfall in South Korea, *The Korean communications in Statistics*, Vol. 10, No. 2, pp.445-456
- Medina-Gómez, I., Herrera-Silveira, J. A., 2003, Spatial characterization of water quality in a karstic coastal lagoon without anthropogenic disturbance: a multivariate approach, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, Vol. 58, No. 3, pp.455-465
- Taylor, S.P., Haywood, A.M., Valdes, P. J., Sellwood, B. W., 2004, An evaluation of two spatial interpolation techniques in global sea-surface temperature reconstructions: Last Glacial Maximum and Pliocene case studies, *Quaternary Science Reviews*, Vol. 23, pp.1041-1051