

통계분석기법을 이용한 군산연안해역의 수질평가

이 남 도 · 김 종 구*

한국종합환경연구소 물리부, *군산대학교 토목환경공학부
(2007년 2월 6일 접수; 2007년 3월 13일 채택)

The Evaluation of Water Quality in Coastal Sea of Kunsan Using Statistic Analysis

Nam-Do Lee and Jong-Gu Kim*

Korea environmental technology consulting, Department of oceanophysics, gyeonggi, Ansan 426-857, Korea

*School of Civil & Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

(Manuscript received 6 February, 2007; accepted 13 March, 2007)

This study was conducted to evaluate water quality in coastal sea of Kunsan using multivariate analysis. The analysis data in Coastal Sea of Kunsan use of surveyed data by the NFRDI from April 2000 to November 2002. Twelve water quality parameter were determined on each sample. The results was summarized as follow ; Water quality in coastal sea of Kunsan could be explained up to 62.782% by four factors which were included in loading of nitrogen-nutrients by Keum river(24.688%), suspended solids variation (12.180%), seasonal climate variation (18.367%) and variation of DIP (10.546%). To analyze spatially and monthly variation by factor score, it was divided by inner area and outer area spatially, and spring and summer monthly. The result of time series analysis by factor score, inner area of Kunsan coastal sea(St.1 and St. 2) was the most affected by nitrogen-nutrient and suspended solids due to runoff by Keum river. It could be suggested from these results that it is important to reduce the pollution loads from Kuem river for the control of the water quality in coastal sea of Kunsan.

Key Words : Kunsan coastal sea, Multivariate analysis, Time series, Factor score

1. 서 론

군산 연안해역은 한반도의 서해중부에 위치한 금강과 황해가 만나는 전형적인 하구(Estuary)의 특성을 나타내고 있으며, 대단위 간척사업인 새만금지구 사업구역의 일부를 이루고 있는 곳으로, 금강하구둑을 중심으로 20Km 밖에 고군산군도가 위치하고 있고, 30Km 밖에는 십이동파도가 위치하고 있는 해역이다.

군산 연안해역은 육상의 영향을 받는 환경요인과 해양의 영향을 받는 요인들이 상호 복합적으로 연계되어 환경특성이 결정되어지는 곳이기에, 해양 중에서도 가장 복잡·다양한 환경특성을 나타내는 곳

이다. 그리고 담수와 해수가 만나 물질 혼합이 지속적으로 이뤄지는 수질의 변화가 큰 해역이었으나, 1994년 9월 금강하구둑 폐쇄로 인해 완전혼합형¹⁾에서 부분혼합형 또는 염분쇄기형으로 하구형태가 변하는 물리적 특성이 변화²⁾하였으며, 1994년 이후 금강하구둑의 수문조작에 따른 담수의 간헐적 유입에 따른 유동에너지의 감소로 인해 물질순환형태의 변화가 나타나기 시작하여 해역의 화학·생물학적 환경특성을 크게 변화시켰다.

이후 본 해역에서 적조가 발생하기 시작하였는데, 1994년 적조 발생을 시작으로 1995년 1회, 1998년 2회, 1999년 5, 2000년 5회 등 매년 발생횟수가 증가하고 있으며, 1998년 10월에는 와편모조류의 유독성 적조생물이 출현³⁾하는 등 연구해역의 수질오염이 악화되고 있는 현실이다.

군산 연안해역에 관한 기존 연구로는 금강하구의

Corresponding Author : Jong-Gu Kim, Department of Civil & Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea
Phone: +82-63-469-1874
E-mail: kjpg466@kunsan.ac.kr

자연환경특성에 대한 물질변화에 대한 연구가 대부분이다. 하구에서 유속 및 유량의 계절변화 및 하상 퇴적물의 특성에 관한 연구⁴⁾, 하구역에서 질소화합물 순환과 클로로필-a의 분포결정에 관한 연구⁵⁾, 금강 하류의 수질변화에 관한 조사 연구⁶⁾, 금강하구역에서 영양염류, 엽록소, 부유물질과 염분변화에 대한 500일간의 연속 관측한 연구⁷⁾ 등이 있다. 특히 하구둑의 수문 가동시인 1994년을 기점으로 수질이 크게 변화하였다는 연구 결과^{8,9)}가 대부분이다.

이러한 하구 해역과 접해있는 연안 해역의 수질 관리를 위해서는 물리·화학·생물학적인 환경특성의 파악이 필수적인데, 이는 현장 관측치들의 단순 비교·분석 방법뿐만 아니라 축적된 관측 자료들을 대상으로 이를 집약된 항목으로 표현하는 과학적이고 체계적인 다변량분석법의 적용이 유용하다고 하겠다.

이러한 통계분석 기법의 수질평가에 적용한 예를 보면, 일본에서는 하천 수질오탁 평가에 이용¹⁰⁾한 이후 해양에 적용되어 해양특성 및 수질평가, 해황 해석, 적조도 조사, 적조예측 등의 많은 분야에 이용되어져 왔다¹¹⁻¹⁷⁾. 국내에서의 연구는 요인분석을 통한 진해만의 수질 및 생태계 변화요인 평가¹⁸⁾, 주 성분분석법을 통한 인천연안의 수질평가¹⁹⁾, 다변량 해석을 통한 마산만 저층수의 수질평가²⁰⁾와 주 성분 분석법에 의한 낙동강 하구해역의 수질평가²¹⁾, 다변량 해석기법에 의한 금강하구역의 수질평가⁸⁾ 다변량 해석에 의한 낙동강 하구해역의 평가²²⁾ 및 하계 금강하구 주변해역의 수질특성과 수질변동 요인분석⁹⁾ 등이 보고되어 있고, 미국에서 플로리다만의 수질특성 평가를 위하여 다변량해석을 적용²³⁾한 연구 등 많은 연구가 수행되었다.

본 연구는 군산 연안해역의 관측자료를 이용하여 수질 변동특성을 조사하고, 다변량분석기법 중 요인 분석과 시계열분석을 적용하여 군산 연안해역의 수질변동 요인을 분석하고, 시·공간적인 특성에 따른 수질을 결정하는 주요인을 조사하여 수질관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 대상구역 및 자료출처

연구대상범위는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 동서로는 금강하구둑부터 십이동파도에 이르며, 남북으로는 연도에서 고군산군도에 이르는 해역이다. 분석 자료는 국립수산과학원의 “한국연안의 적조 모니터링조사 및 예측연구”³⁾의 자료를 이용하여 해역의 수질을 평가하고 다변량 분석기법의 하나인 요인분석을 적용하여 수질특성을 평가하였다.

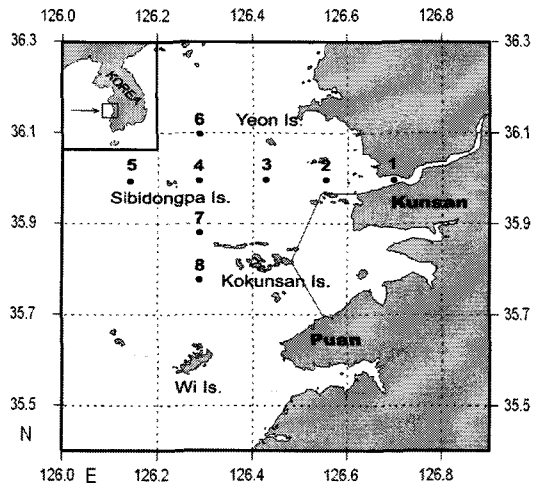


Fig. 1. Map of sampling station in coastal sea of Kunsan.

수질자료는 국립수산과학원 서해수산연구소 군산 분소에서 군산 연안해역의 총 8개 정점을 대상으로 2000년부터 2002년까지 적조가 주로 발생하는 시기인 4월부터 11월 사이에 매월 1회씩 정기적으로 현장조사를 실시한 자료를 이용하였으며, 이들 자료 중에서 연도별, 지점별 측정된 자료수가 일치하는 항목에 대해서만 통계분석을 실시하였다.

측정항목은 수온(Temperature), 염분(Salinity), pH, 용존산소(DO), 부유물질(SS), 화학적산소요구량(COD), Chlorophyll-a, 암모니아질소(Ammonium), 아질산성질소(Nitrite), 질산성질소(Nitrate), 용존무기인(DIP), 용존무기질소(DIN)으로써 총 12개 항목을 해양환경 공정시험방법²⁴⁾에 의하여 분석되었다.

2.2. 요인분석

요인분석은 분석된 자료를 근간으로 전체변수 중 보다 간결하고 명료한 관계를 가지는 요인을 추출하기 위한 방법으로, 먼저 본 연구에서는 각 변수간의 상관행렬을 이용해서 주 대각선상의 값을 변형시키지 않는 채로 공통 분산치 1.0의 값을 추정값으로 하여 요인행렬을 추출하는 주 대각성분 요인 추출법이 적용되었다. 최초요인을 추출된 뒤 회전시키지 않는 요인행렬로부터 몇 개의 요인을 추출하기 위하여 고유치가 최소 1.0 이상이 되어야 한다는 기준으로부터 요인을 추출하였다.

요인이 해당되는 변수를 설명해주는 의미를 가진 요인부하량을 산출한다. 그리고 여러 요인이 비슷한 요인부하량을 나타낼 경우 변수들이 어떤 요인에 높게 작용하는지를 알아보기 위하여 요인축을 회전시킨다. 요인의 회전을 통하여 변수와 요인사이의

관계를 더욱 명확히 하여 변수와 요인과의 해석을 보다 쉽게 판단할 수 있다. 요인회전 방법은 여러 종류가 있으나 직각회전방식중에서 각 요인은 다른 요인과 상호 독립적이면서 하나의 요인에 높게 적재되는 변수의 수를 줄여서 요인을 해석하는데 중점을 주어 각 변수들의 분산구조보다 각 요인의 특성을 알고자 할 때 유용한 Varimax방식을 적용하였다.

추출된 요인은 각 조사지점별, 연도별, 계절별로 변수별 응답을 요인들의 선형결합으로 표현된 요인 특점을 아래 식으로 계산한다.

$$F_{jk} = \sum_{j=1}^P W_{jk} Z_{jk} \quad (1)$$

여기서, F_{jk} 는 k지점별, 연도별, 월별 수질변수 j에 의한 요인특점, P는 수질변수의 수, Z_{jk} 는 표준화된 변수의 인자부하량, W_{jk} 는 각 변수에 주어지는 가중치를 의미한다. 가중치는 회귀법을 통하여 변수별로 서로 다른 가중치를 산출하여 적용하는 방법을 이용하였다.

2.3. 시계열분석

시계열이란 시간의 흐름에 따라 일정한 간격으로 관측하여 기록된 자료를 말한다. 시계열분석이란 관측된 자료를 분석하여 법칙성을 발견하고 이를 모형화하여 추정하는 것을 말한다. 자료를 시간의 흐름에 따라 그림으로 나타내고 법칙성을 발견하여 계절적 변동특성을 파악하는데 그 목적이 있다. 본 연구에서는 요인분석 결과 얻어진 요인점수를 이용하여 정점 2~정점 5의 4개 정점을 이용하여 시계열 분석을 실시하였다.

본 연구에서는 요인분석에서 얻어진 요인점수를 이용하여 각기 다른 환경인자의 영향을 받는 그룹인 조사정점, 연도, 월에 대한 수질환경 특성을 분석하였다.

통계분석을 위한 통계처리에는 SPSS for window release 10.1을 이용하여 분석을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질특성 및 항목간의 상관분석

근산 연안해역에 대한 2000년부터 2002년 동안의 조사된 지점별 평균 수질을 Table 1에 나타내었다.

지점별 수질의 변동을 보면, 금강하구둑 부근에서 낮은 염분농도와 낮은 pH값을 보였고, 외해역으로 가면서 증가하였다. 남북으로는 만경강과 동진강 유출수의 영향을 받는 지점 8에서 낮은 농도를 보였다. 부유물질과 화학적산소요구량 및 영양염류의 농도는 금강 및 근산하수가 유출되는 경포천의 영향을 받는 금강하구둑 입구부에서 모두 높았으며 외해로 갈수록 낮아지는 경향을 나타내었다. COD의 경우 내측 지점 1에서 해역수질환경기준 III등급을 보였고, 나머지 지점에서는 II등급수를 나타내었다. 식물플랑크톤의 농도를 나타내는 엽록소의 경우 담수의 영향을 받는 지점에서 대부분 높게 나타났는데, 이는 담수조류에 의한 것으로 판단된다.

수질인자간의 관련성을 평가하기 위하여 12개 수질항목에 대한 단순상관분석을 실시한 결과를 Table 2에 나타내었다.

계절적 인자인 수온은 DO($r=-0.709$)와 음(-)의 좋은 상관성, 밀도류의 영향을 받는 염분은 $\text{NO}_3\text{-N}$ ($r=-0.522$)의 음(-)의 좋은 상관성을 보였으며, 영양염류인 DIN는 $\text{NH}_3\text{-N}$ ($r=0.791$), $\text{NO}_3\text{-N}$ ($r=0.746$)과 높은 정(+)의 상관성을 나타내었다.

3.2. 주성분분석

근산 연안해역에서 2000년부터 2002년까지 총 12개의 수질항목을 대상으로 조사된 자료를 이용하여 요인분석을 행한 결과 나타난 12개 요인의 고유치와 수질에 미치는 기여율을 Table 3에 나타내었다.

추출된 12개의 최초요인 중 보다 나은 해석을 위하여 주대각성분 추출방법에 의해서 요인수를 결정한다. 이 때 요인수를 결정하는데는 여러 가지 방법이 있으나, 본 연구에서는 고유치(Eigen Value) 기

Table 1. Range and mean values of water quality constituents during 2000~2002 in coastal sea of Kunsan

Station	Temp.	Sal.	pH	SS	DO	COD	Chl-a	DIP	$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	DIN
	℃	psu		mg/L	mg/L	mg/L	mg/m ³	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	18.7	24.6	7.46	24.86	8.32	2.04	9.15	0.080	0.515	0.065	0.705	1.296
2	18.4	28.9	7.65	15.57	8.49	1.80	4.91	0.073	0.445	0.023	0.315	0.804
3	18.1	29.7	7.69	11.17	9.05	1.61	4.05	0.036	0.299	0.011	0.183	0.505
4	17.2	30.7	7.65	10.46	9.23	1.43	2.67	0.037	0.402	0.008	0.144	0.567
5	17.2	31.1	7.73	9.02	9.09	1.19	1.79	0.033	0.360	0.007	0.137	0.516
6	17.5	30.4	7.67	9.47	9.02	1.66	2.79	0.046	0.348	0.010	0.154	0.533
7	17.5	30.2	7.68	9.40	9.06	1.69	2.91	0.029	0.353	0.011	0.164	0.526
8	17.2	29.7	7.65	10.06	9.01	1.64	3.13	0.032	0.327	0.010	0.193	0.582

Table 2. Correlation matrix among 12 variables

	Temp.	Sal.	pH	SS	DO	COD	Chl-a	DIP	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN
Temp.	1.000											
Sal.	-.420	1.000										
pH	.072	-.087	1.000									
SS	.049	-.333	-.270	1.000								
DO	-.709	.319	-.186	.061	1.000							
COD	.056	-.211	-.089	.049	.037	1.000						
Chl-a	.240	-.301	-.155	.198	-.032	.059	1.000					
DIP	-.282	-.035	.109	.073	.068	-.032	-.136	1.000				
NH ₃ -N	-.171	.054	-.168	-.126	-.004	.131	-.010	-.136	1.000			
NO ₂ -N	-.048	-.257	-.067	.141	-.016	.180	.105	.133	.133	1.000		
NO ₃ -N	-.049	-.522	-.254	.331	.199	.212	.335	-.017	.223	.377	1.000	
DIN	-.270	-.277	-.248	.127	.133	.208	.184	-.034	.791	.353	.746	1.000

Table 3. Eigen value and cumulative percentage of factor

Component	Eigenvalues	% of Variance	Cumulative %
1	2.963	24.688	24.688
2	2.204	18.367	43.055
3	1.462	12.180	55.235
4	1.266	10.546	65.782
5	0.927	7.727	73.508
6	0.843	7.026	80.534
7	0.725	6.045	86.579
8	0.669	5.575	92.153
9	0.496	4.137	96.290
10	0.243	2.023	98.313
11	0.188	1.569	99.881
12	0.014	0.119	100.000

Extraction Method : Principal Component Analysis.

준으로 판단하였다. 고유치는 요인을 설명하는 분산의 크기를 나타낸 것으로 고유치가 1보다 크다는 것은 하나의 요인이 변수 1개 이상의 분산을 설명한다. 따라서 고유치가 1 이하인 경우 1개의 요인이 변수 1개의 분산을 설명할 수 없으므로 요인으로서의 가치가 없어 제외하고 1 이상이 되는 4개 요인을 추출하였다.

요인 1의 고유치는 2.963으로서 기여율 24.688%, 요인 2는 고유치 2.204로서 기여율 18.367%, 요인 3은 고유치 1.462로서 기여율 12.180%, 요인 4는 고유치 1.266으로서 기여율 10.546%로서 요인 1과 요인 2를 제외한 요인 3과 요인 4는 약 10%~15%의 기여율을 나타내었다. 이들 요인 1부터 4까지 누적

Table 4. Rotated factor matrix extracted from principal component analysis

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Temp.	-0.107	-0.881	0.171	-0.217
Sal.	-0.375	0.563	-0.492	-0.272
pH	-0.137	-0.356	-0.448	0.466
SS	0.026	0.063	0.764	0.117
DO	0.011	0.864	0.150	0.028
COD	0.378	-0.093	0.095	0.057
Chl-a	0.138	-0.196	0.579	-0.255
DIP	-0.005	0.205	-0.017	0.784
NH ₃ -N	0.766	0.128	-0.353	-0.354
NO ₂ -N	0.530	-0.044	0.173	0.392
NO ₃ -N	0.694	0.073	0.543	0.048
DIN	0.942	0.157	0.087	-0.141

Rotation Method : Varimax with Kaiser Normalization.

기여율은 65.782%로서 전체 수질 변동의 65.782%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다.

그리고 최초 인자부하량을 분석한 결과로부터 요인적재량이 어떤 요인에 높게 적재되어 있는지의 여부를 판단하기 위하여 Varimax법으로 회전시켜 요인과 수질변수와의 관계를 보다 정확하게 설명할 수 있는 결과를 Table 4와 Fig. 2에 나타내었다.

요인분석 결과 추출된 각 요인과 수질변수와의 관계를 살펴보면, 요인 1은 질소계 영양염과 높은 양(+)의 인자부하량을 가지며, 요인 2는 자연 변화성을 가진 수온과 음(-)의 인자부하량을, 용존산소(DO)와는 양(+)의 인자부하량을 나타내었다. 요인 3은 Chl-a와 부유물질(SS), 질산성질소(NO₃-N)과 양(+)의 인자부하량을 나타내고 있었으며, 요인 4는

통계분석기법을 이용한 군산연안해역의 수질평가

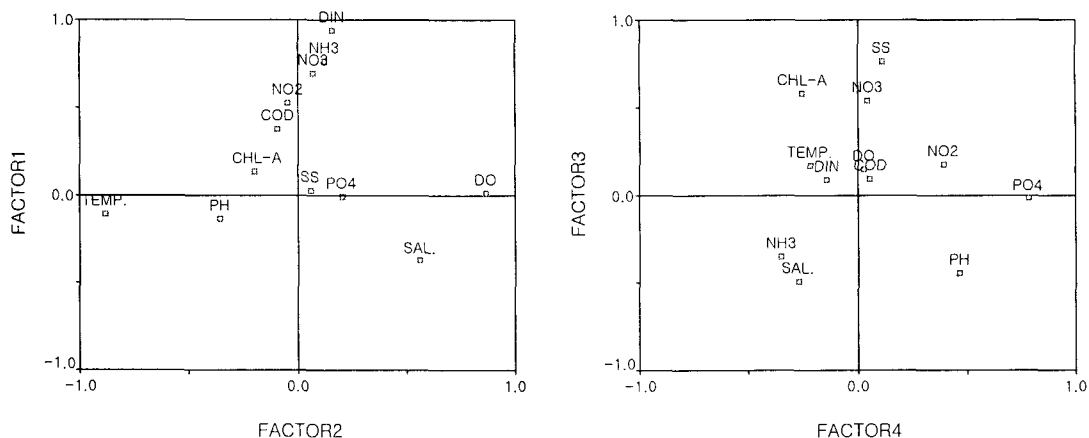


Fig. 2. Factor loading after varimax rotation for variables.

DIP와 정의 인자부하량을 가졌다.

요인 1은 질소계 영양염과 높은 (+)의 상관성을 보이고 있어 “육상으로부터의 담수 유입에 따른 오염물질의 공급 요인”으로 판단된다. 이것은 금강하구역이 부영양화된 금강 하구호의 담수가 하구둑을 통하여 유입되며, 군산시 생활하수가 경포천을 통해 유입되어 하구의 질소계 오염물질의 주요오염원으로 작용하기 때문에 나타난 것으로 판단된다.

요인 2는 수온의 계절적 변화와 그에 따른 용존산소(DO)와의 변동을 설명하는 요인으로서 “기후변동의 요인”으로 판단된다. 수온 감소에 따른 용존산소의 증가변동이 정확하게 나타나고 있으며, 적재된 상관성도 크게 의존하고 있음을 알 수 있다.

요인 3은 부유물질(SS) 및 Chl-a와 높은 양(+의 상관성을 보여 “자생유기물에 의한 부유물질의 증가 요인”과 밀접한 관련성이 있는 것을 알 수 있다.

요인 4는 DIP와 높은 양(+의 상관성을 보여 인산계 영양염의 변동과 관련이 있는 것으로 나타났으며, 인산염의 변동에는 조류성장에 따른 인의 소비 및 퇴적물에 의한 인의 용출 영향 등을 들 수 있다.

3.2.1. 요인특점에 의한 지점별 수질변동 평가

지점간의 수질 변동 특성을 조사하기 위해서 요인분석 결과 얻어진 요인특점을 조사지점별로 산술 평균하여 구한 값을 산점도로 작성하여 Fig. 3에 나타내었다.

요인 1은 인위적 오염의 영향을 가장 많이 받는 금강하구둑 쪽인 정점 1과 정점 2에서 1.2044, 0.2611로 매우 높은 요인특점을 나타내며, 외해역으로 갈수록 낮은 요인특점을 나타내고 있다.

권 등⁹⁾은 금강하구에서의 수질변화에 대한 연구에서 본 연구조사지점 중 지점 1에 해당되는 내측에서 연구된 결과에 따르면 염분농도와 질소계물질인

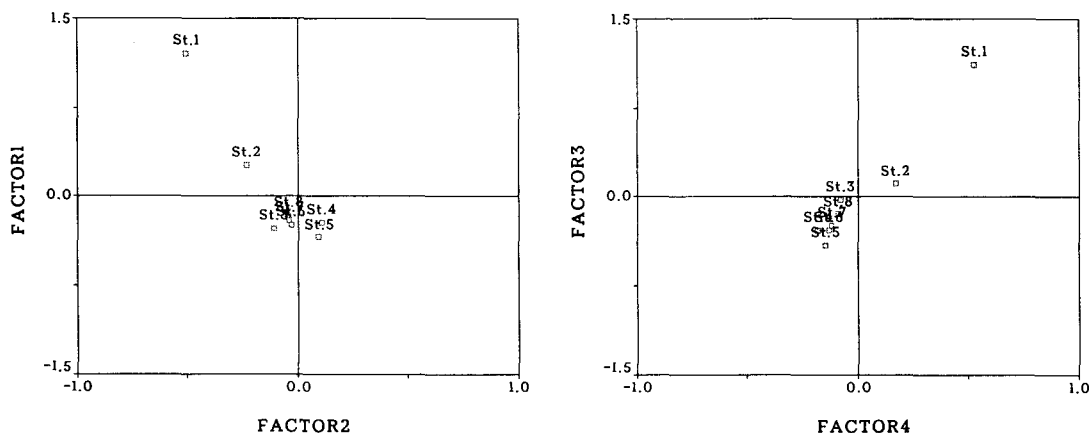


Fig. 3. Factor score for spatial variation in coastal sea of Kunsan.

DIN과의 상관성이 금강하구둑 수문 조작 이후인 1994년 8월 이후 하구내 질소계의 농도의존성이 담수의 유입과 밀접한 관계가 있음을 보고하고 있다. 원래 질소계 물질 중 질산염의 경우 담수의 영향을 크게 받는 물질로 알려져 있으며, 본 연구에서는 전체 조사지점 중 지점 1과 2가 그 영향을 많이 받는 지점에 속하기 때문에 판단된다.

계절적 변동, 기후변동의 영향을 받는 요인 2는 정점 4와 정점 5에서 0.1035, 0.0916으로 다른 지점에 비해 높은 요인득점을 나타내고 있다. 이는 하구역 내측은 담수의 영향으로 계절적 변동이 뚜렷하게 나타나지 않으나, 외해지점은 상대적으로 담수의 영향이 적기 때문에 계절적 자연적인 변화가 비교적 잘 나타나기 때문이다.

부유물질에 의한 영향과 Chl-a의 영향을 받는 요인 3은 정점 1과 정점 2에서 -1.1136, 0.1051로 높은 다른 지점에 비해 높은 요인득점을 나타내고 있다. 이는 금강하구둑의 수문개방으로 인한 담수유입과 담수유출에 따른 저층 재부유에 의한 영향으로 높은 부유물질을 발생시키기 때문으로 판단되며, Chl-a의 변동은 담수중에 포함된 담수조류에 의한 영향으로 해석된다.

식물플랑크톤의 제한인자인 인의 영향을 받는 요인 4는 정점 1과 정점 2에서 0.5258, 0.1673으로 다른 지점에 비해 높은 요인득점을 나타내고 있다. 이는 금강하구둑 아래 군장국가공단에서 배출되는 폐수와 군산시 생활하수의 영향 및 하구연안역 퇴적물에서의 영양염 용출에 기인함을 의미한다. 정점 1이 요인 1과 요인 3, 요인 4에 높은 요인득점을 나타내는 것은 하구의 영향을 받아 독립적인 수질특성을 나타내는 것을 의미하고, 나머지 정점들은 서로 비슷한 수질특성을 나타내고 있었다.

3.2.2. 요인득점에 의한 월별 수질변동 평가

월별 수질변동 특성을 평가하기 위하여 요인분석 결과 얻어진 요인득점을 월별로 산술 평균하여 구한 값을 산점도로 작성하여 Fig. 4에 나타내었다.

질소계 영양염 부하특성을 나타내는 요인 1의 경우 4월이 0.6952로 가장 높았고, 6월이 낮은 요인득점을 나타내고 있어, 뚜렷한 계절적 특성이 없었다. 계절적 기후변동의 영향을 받는 요인 2는 4월, 11월에 1.0028, 0.7318의 높은 요인득점을 보였고 8월, 9월에는 -1.2292, -0.9494로 낮은 요인득점을 보였다. 계절적 변동이 뚜렷하여 춘계와 추계에 영향이 크고, 하계에 영향이 적은 것으로 나타났다. 부유물질의 영향을 받는 요인 3은 6월, 7월, 11월에 0.3734, 0.3301, 0.4598로 높은 요인득점을 보였고, 4월, 5월에는 낮은 요인득점을 나타내어, 하계에 영향이 크고, 춘계에 영향이 적은 것으로 나타났다. 이는 하계 강우유출과도 일부 관련성이 있음을 알 수 있다. 인산염의 변동을 나타내는 요인 4의 경우도 춘계에 높고 하계에 낮은 경향을 보여, 하계 비강우시에 저층 퇴적물에서의 인산염의 용출이 영향을 주는 것으로 판단된다.

3.3. 요인득점에 의한 시계열 변화

군산 연안해역 수질변동의 요인특성을 파악하기 위하여 요인분석에서 얻어진 요인득점에 대한 시계열 변화를 분석하였다. 각각의 추출된 요인에 대하여 지점간의 특성을 고려하여 동서로 뻗어있는 조사 정점들 중 정점 2, 정점 3, 정점 4, 정점 5를 대상으로 요인득점에 대한 시계열 분석을 행하였다. 각 요인에 대한 4개 지점의 시계열 변화를 Fig. 5에 나타내었다.

질소계 영양염 부하특성을 나타내는 요인 1에서

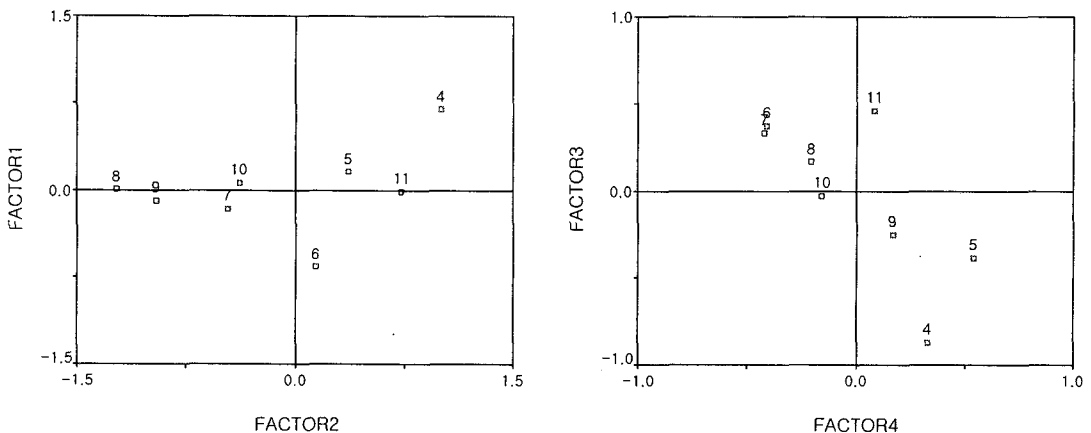


Fig. 4. Factor score for monthly variation in coastal sea of Kunsan.

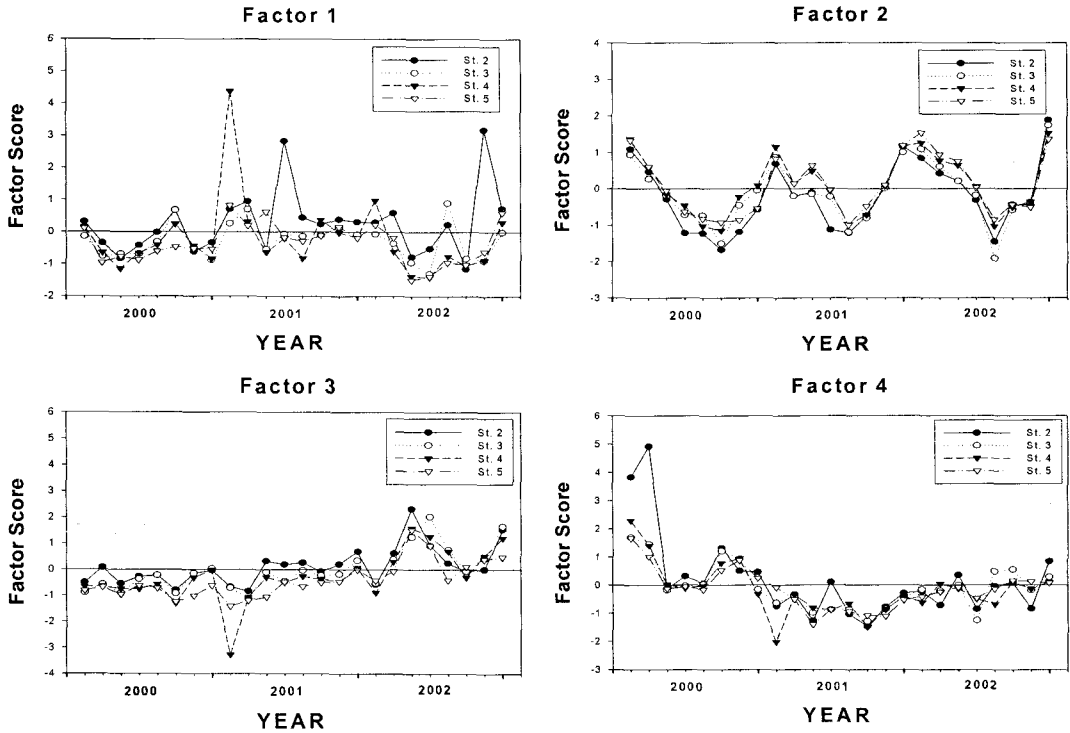


Fig. 5. Seasonal variation of factor score for factor 1~4.

는 본 연구 대상지역 중 가장 외해인 정점 5의 요인 점수가 가장 낮아 오염부하가 가장 적었고, 금강 하구와 가장 근접해 있는 정점 2에서 가장 큰 요인점수를 나타내어 금강 하구에 밀집되어 있는 각종 유락시설 및 공단의 오염물질의 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있다.

자연적인 기후 변동 특성을 나타내는 요인 2는 계절변화에 따라 전 지점에서 동일한 패턴을 보이고 있다. 이것은 하계·동계의 수온증감에 따른 용존산소 포화량의 감소·증가가 일정하게 반복되는 것을 의미한다.

부유물질에 의한 영향과 Chl-a의 영향을 받는 요인 3은 수심이 비교적 얇은 정점 2에서 부유 물질에 의한 영향이 다소 크게 나타났고, 외해측인 정점 5에서는 그 영향이 다소 작아 낮게 나타나고 있다. 이것은 해역의 수심이 얇아서 해상의 기상 변동에 따라서 부유 토사의 재 부유가 일어나며 육상으로부터의 부유 물질의 유입에도 영향을 받는 것으로 사료된다.

인산염의 영향을 받는 요인 4는 금강 하구와 근접해 있는 정점 2의 요인점수가 다소 높게 나타났다. 또한 2000년 4월과 5월에 높은 요인득점을 얻고 있어 이는 금강하구둑 근처의 각종 유락시설에서 배출되는 생활하수의 영향과 저층 저질에서의 용출

에 기인한다 할 수 있겠다.

4. 결 론

군산 연안해역의 수질 특성을 평가하기 위하여 다변량분석 기법의 하나인 요인분석과 시계열 분석을 이용하여 자료를 해석한 결과는 다음과 같다.

군산 연안해역의 수질특성은 금강하구와 근접해 있는 정점 1에서 오염부하가 큰 것으로 나타났고, 본 연구대상지역 중 가장 외해측인 정점 5에서 오염부하가 낮게 나타나고 있다. 유기오염의 지표로 사용되는 COD는 일부 정점에서는 3급수를 보이고 있으나 전체적으로 2급수의 수질을 보이고 있었다.

요인분석 결과 수질특성의 설명 능력은 질소계 영양염의 변동을 설명하는 요인 1이 24.688%, 기후변동에 의한 계절적 변화 특성을 설명하는 요인 2가 18.367%, 부유물질의 영향을 받는 요인 3이 12.180%, 퇴적물에 의한 인의 용출에 기인하는 인의 변동을 나타내는 요인 4가 10.546%로 나타나, 이들 요인에 의해 전체 수질특성의 65.782%를 설명할 수 있었다.

요인점수에 의한 지점별, 월별 분석에서는 지점별로는 크게 금강하구역 내측해역과 외측해역으로 구분되어 평가되었으며, 월별로는 춘계와 하계로 구분되어 다른 변동 특성을 가지는 것으로 나타났다.

요인득점에 의한 시계열 분석의 결과에서 질소계

영양염에 의한 영향을 많이 받고 있는 지점은 금강 하구 내측에 위치한 정점 2로 나타났고, 부유물질의 영향을 가장 많이 받는 지점도 정점 2로 나타났다. 이는 금강하구의 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 군산 연안해역은 금강 및 군산생활하수의 영향으로 영양염부하, 특히 질산염의 부하가 큰 것으로 평가되었고, 강우시의 담수유출과 관련하여 수질의 변동이 나타난 것으로 평가되었다. 따라서 군산연안역의 수질관리를 위해서는 수질지배인자의 하나인 오염부하량 중 금강을 통한 오염부하량의 조절이 필요한 것으로 평가되었으며, 내측 연안퇴적물과 관련된 관리도 필요한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 1) Chung J. Y., Bhang, I. K. 1984, Circulation dynamics of the Keum river estuary—fluid dynamic characteristics, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19, p.141-152.
- 2) 최진용, 최현용, 서만석, 1995, 하구언 갑문폐쇄 후 금강하구의 물리, 퇴적학적 특성 변화, *한국해양학회지*, 30(4), 262-270.
- 3) 국립수산과학원, 2000~2002, 서해수산연연구소, 적조 광역 모니터링 및 예측연구 조사 자료.
- 4) Oh, S. H., Lee G. H., 1985, Hydrographic and physicochemical water quality of Keum river, *Bull. KACN*, 7, 5-16.
- 5) 기준학, 김경렬, 1987, 금강하구에서의 화학적, 생물학적 체과정에 관한 연구 II. Chl-a 분포 결정요인에 관하여, *한국해양학회지*, 22, 207-215.
- 6) Yang, H. S., Kim S. S., 1990, Characteristics of spatio-temporal variation of the water quality in the lower Keum river. *J. Korean Fish. Soc.* 23, 225-237.
- 7) 이용혁, 양재삼, 1997, 금강하구에서의 영양염류, 염류소, 부유물질과 염분 변화에 대한 500일간의 연속관측, *J. Korean Soc. Oceano.*, 2(1), 1-7.
- 8) 김중구, 1998, 다변량해석기법에 의한 금강하구역의 수질평가, *한국환경과학회지*, 7(5), 595-598
- 9) 권정노, 김중구, 유선재, 2000, 하계 금강하구 주변해역의 수질특성과 수질변동 요인분석, *한국해양환경공학회*, 3(4), 3-22
- 10) 中路勉, 港和行, 人江鎖三, 1979, 河川水質の統計學的研究(Ⅰ)—長野縣内天龍川水質への多變量解析の適用—, *J. Faculty Agri., Shinshu Univ.*, 16, 79-92.
- 11) 伊藤伸一, 宇都宮曉子, 節田節子, 1981, 多變量解析法の水質汚濁研究への應用—多摩川について—, *水質汚濁研究*, 4(2), 91-95.
- 12) 大内晟, 高山晴義, 1981, 主成分分析による赤潮凶について, *Bull. Japanese Soc. Sci. Fish.* 47(10), 1275-1279.
- 13) 大内晟, 1982, 廣島灣奥部における赤潮豫報研究の現狀, *沿岸海洋ノート*, 20(1), 33-42.
- 14) 大内晟, 1984, 廣島灣の赤潮豫察システムについて, *廣水試研報*, 第14號, 31-38.
- 15) 太田立男, 鶴健一, 高柳俊博, 1986, 主成分分析法による三河灣海況解析, *用水と廢水*, 28(11), 16-19.
- 16) 村上和男, 1987, 水質自動観測データの解析と赤潮豫測への應用, *港灣技術研究所報告*, 26(2), 213-252.
- 17) 坂本博明, 濱口龍司, 岩瀬政吉, 1988, 東北海道茶内地區河川の多變量解析法による汚濁の評価, *用水と廢水*, 30(3), 239-245.
- 18) Hong S. W., Ha Y. C., Ahn T. S., 1985, Factor analysis of water quality and ecosystem in Jinhae bay, *J. Korea Water Pollut. Res.* October, 9-17.
- 19) Lee H. J., Lee H. J., Han J. S., Kwon S. P., 1991, Evaluation of Incheon coastal area water quality using Principal component analysis, *J. KWPRK*, 7(1), 9-19.
- 20) 이무강, 황정욱, 최영광, 1997, 다변량 해석에 의한 마산만 저층수의 수질평가, *한국환경과학회지*, 5(1), 15-23.
- 21) Shin, S. K., Park C. K., Song K. O., 1998, Evaluation of water quality using principal component analysis in the Nakdong river estuary, *J. Korean Env. Sci. Soc. Korea*, 7(2), 17-176.
- 22) Jang J. H., 1999, A multivariate analysis of water quality characteristics in the Nakdong estuary. M.D. Thesis, Pukyung Nat'l Uni. Korea, 75-76.
- 23) Boyer J. N., Fourqurean J. W., Jones R. D., 1997, Spatial characterization of water quality in Florida bay and Whitewater bay by multivariate analysis; zone of similar influence, *Estuaries*, 20(4), 743-758.
- 24) 한국해양학회, 1997, 해양환경공정시험방법, 국립수산과학원, 316.