

## Evaluation of Water Quality Using Multivariate Statistic Analysis in Busan Coastal Area

Sang Soo Kim<sup>1)</sup> · Jang Sik Cho<sup>2)</sup>

### Abstract

Principal component analysis and cluster analysis were conducted to comprehensively evaluate the water quality of Busan coastal area with the data collected seasonally by the analysis of surface water at 10 stations from 1997 to 2003. We noted that the first principal component was regarded as a factor related with the input of nutrient-rich fresh water and the second principal component as meteorological characteristics. Also we obtained that water qualities of station 4 and 9 were different from those of other stations in Busan coastal area.

주제어 : 개체플롯, 군집분석, 변수플롯, 주성분분석

### 1. 서론

최근 주요연안의 수질오염은 해역으로 유입되는 오염물질 부하량을 줄이기 위하여 연차적으로 오·폐수처리장이 증축되고 있음에도 불구하고 여전히 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 기초 작업으로서 연안 수질오염 실태를 파악하기 위한 해양수질조사가 이루어지고 있고, 다양한 항목에 대한 방대한 시험분석 결과가 얻어지고 있다.

그러나 이러한 결과를 단순한 기술통계만을 통해 해역으로 유입되는 다양한 오염물질의 종류를 판단하고 복잡한 수질변동특성을 가지고 있는 해양의 오염물질 분포특성을 파악하기에는 한계가 있다(이, 한, 권(1991)). 특히, 본 연구의 대상해역인 부산연안에는 광역시 중 가장 많은 인구가 거주하고 있는 부산시와 가장 큰 항구인 부산항이 위치하고 있으며 또한 우리나라 4대강 중 하나이며 하류에 신평·장림 공단이 위치한 낙동강과, 상류에 금사공단과 하류에 수영하수종말처리장이 위치한 수영천 등이 유입되고 있어 매우 다양한 종류의 오염물질에 의해 영향을 받고 있을 것이므로 보다 효

1) 제1저자 : 국립수산과학원, 부산시 기장군 기장읍 시랑리 408-1, 619-902,

2) 부교수, 부산광역시 남구 대연동 110-1 경성대학교 정보통계학과, 608-736.

E-mail : jscho@ks.ac.kr

과적인 평가방법이 요구된다. 여기에 관련된 연구는 조, 이, 박(1995), 박, 양, 이, 김(1995)에 의해서 소개된 바가 있다.

이러한 측면에서 다변량 통계분석법은 한 가지 이상의 변수들이 서로 상관관계를 갖고 있어서 직접적으로 해석하기 어려운 변수들간의 구조적 상관관계를 원래 변수보다 적은 수의 요인을 상정하여 분석하는 방법으로, 주성분분석(principal components analysis)은 많은 변량을 가지는 자료를 서로 무상관인 소량의 종합적인 특성치, 즉 주성분으로 요약하여 설명하는 수치해석의 한 방법으로서 비교적 복잡한 문제에 대한 의미를 명확하게 제시해 주고 있다. 따라서 오염원이 다양하고 수질변동이 심한 호소나 연안해역의 수질을 체계적으로 검토하기 위해서는 주성분분석을 통한 해석이 매우 유용할 것으로 판단된다. 이와 관련된 주제에 대해서 오, 백(1984), Bartels, Janse, 그리고 Pijpers(1985), 여, 박(1997), 신, 박, 송(1998), Parinet, Lhote, Legube(2004) 등에 의해 연구되었다.

또한 군집분석은 자료가 얼마나 비슷한 값을 갖는지를 거리로 환산하여 거리가 가까운 자료들을 동일한 군집으로 편입시키게 된다. 따라서 수질 관측결과가 지닌 다양한 수질특성을 바탕으로 유사한 수질특성을 지닌 관측점들을 서로 묶어줌으로써, 다수의 수질관측점을 소수의 동질적인 관측점으로 군집화함으로써 동일 군집내에 속해 있는 관측점의 수질특성을 손쉽게 평가하기 위한 목적으로 사용된다.

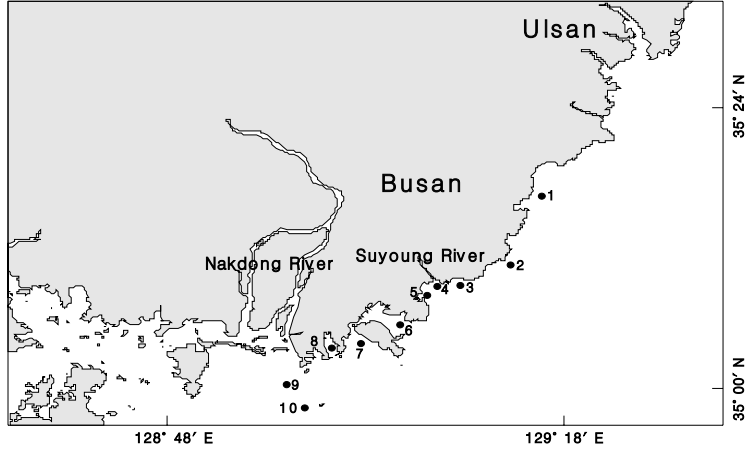
따라서 본 연구에서는 다양한 오염원을 가지고 있는 부산연안의 수질특성을 파악하기 위해 다변량 해석방법 중 주성분분석을 적용하여 계절별로 수질분석 항목들을 서로 무상관한 소수의 새로운 주성분들로 집약하고 각 주성분간의 관계를 검토하였으며, 주성분분석 결과를 이용하여 10개 관측점에 대한 군집분석을 실시하여 서로 유사한 수질특성을 갖는 관측점들을 군집화함으로써 해역 수질변동에 대한 종합적인 평가를 시도하였다.

## 2. 조사방법

주성분분석과 군집분석에 사용된 자료는 1997년부터 2003년까지 7년간 부산연안의 10개 관측점에서 매년 4회(2월, 5월, 8월 및 11월)씩 정기적으로 표층해수를 분석한 자료로서(국립수산과학원, (1997~2003) 참조) 관측점의 위치를 <그림 1>에 나타내었다.

분석항목 중 통계분석에 사용한 항목은 육상으로부터 오염물질의 유입특성을 보여 줄 것으로 판단되는 화학적 산소요구량, 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 총질소 및 총인의 6개항목과 계절적인 변동 양상을 보일 것으로 판단되는 수온, 염분, 수소이온농도, 용존산소, 부유물질 및 투명도의 6개 항목 등 총 12개 항목이었다.

그리고 부산연안의 10개 정점에서 조사된 수질결과의 기초 특성을 파악하기 위해 기술통계분석을 하였으며, 또한 측정항목들 간의 선형적 관계성을 파악하기 위해 상관분석을 실시하였다. 또한 12개의 측정 변수가 관련된 복잡한 해양 수질특성을 파악하기 위해 계절별로 주성분분석을 적용하였으며, 새로운 주성분을 결정하기 위해 고유치가 1.0이상인 주성분을 대상으로 하였으며, 요인의 회전방법은 Varimax 방법을 사용하였다. 또한 주성분분석의 결과를 이용하여 10개의 조사정점에 대한 군집분석을 실시하여 서로 비슷한 수질특성을 갖는 관측점들을 군집화하였다.



<그림 1> 부산연안 조사정점 위치도

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 기술통계에 의한 해양환경 특성 평가

계절별 12개의 분석항목의 최소치, 최대치, 평균 및 표준편차 등 기술통계 값을 <표 1>에 제시하였다.

먼저 각 조사항목별로 최고치가 나타난 시기를 살펴보면 수온, 용존산소, 화학적 산소요구량, 수소이온농도, 질산질소, 총질소, 총인, 부유물질 및 투명도는 하절기인 8월에 최고치를 보였으며 염분은 2월에 최고치가, 암모니아질소, 아질산질소는 5월에 최고치가 나타났다. 한편, 최저치의 경우에는 수온, 수소이온농도는 2월에 최저치가, 아질산질소, 총인은 5월에 최저치가 나타났으며, 염분, 용존산소, 화학적 산소요구량, 아질산질소, 부유물질 및 투명도는 8월에, 암모니아질소, 총질소는 11월에 각각 최저치가 나타났다.

계절 변동폭의 경우 총인은 2월에, 암모니아질소, 아질산질소는 5월에 각각 큰 변동폭을 보이고 있는 것으로 나타났으며 그 외 항목은 8월에 최대 변동폭을 보였다. 이와 반대로 최소 변동폭을 보인 항목과 계절을 살펴보면 염분, 화학적 산소요구량 및 투명도는 2월에 변동폭이 가장 작았으며, 그 외 항목은 11월에 변동폭이 가장 작은 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 각 조사점별로 부영양화지수(Carlson, 1977)의 결과(약 25)와도 밀접한 관련이 있어서 부산연안은 다양한 오염원의 영향을 받아 매우 부영양화되어 있으며 연중 연속적이고 장기간에 걸쳐 식물성플랑크톤이 대량 번식할 가능성이 있는 수질상태인 것으로 조사되었다.

&lt;표 1&gt; 월별 분석항목의 기술통계

Items	2월				5월				8월				11월			
	min	max	mean	SD	min	max	mean	SD	min	max	mean	SD	min	max	mean	SD
Temp.	9.2	13.8	11.7	0.9	13.0	17.8	15.4	1.0	17.6	27.2	23.2	2.4	14.2	20.6	17.0	1.6
Sal.	31.0	34.6	33.8	0.6	27.9	34.5	33.0	1.3	11.1	33.3	30.0	4.4	29.9	33.6	32.6	0.7
pH	7.2	8.4	8.0	0.2	7.4	8.4	8.1	0.2	7.8	9.5	8.2	0.3	7.9	8.4	8.1	0.1
DO	6.0	11.7	8.2	1.5	4.1	11.0	8.5	1.1	2.3	13.5	7.3	2.0	5.7	11.1	7.7	1.3
COD	0.4	3.2	1.6	0.5	0.4	3.4	1.7	0.5	0.3	4.2	2.0	0.8	0.8	3.7	1.8	0.6
NH4	0.005	0.958	0.157	0.233	0.003	1.846	0.129	0.264	0.014	1.220	0.127	0.171	0.001	0.649	0.060	0.093
NO2	0.002	0.126	0.015	0.019	0.001	0.163	0.012	0.020	0.000	0.080	0.013	0.017	0.001	0.027	0.009	0.005
NO3	0.033	1.031	0.190	0.153	0.004	0.678	0.159	0.158	0.020	2.247	0.324	0.421	0.026	0.693	0.129	0.107
TN	0.074	1.650	0.362	0.315	0.038	1.977	0.300	0.356	0.054	2.710	0.464	0.535	0.028	0.971	0.197	0.162
TP	0.007	0.700	0.056	0.095	0.001	0.135	0.025	0.028	0.006	0.172	0.044	0.039	0.003	0.120	0.030	0.020
SS	1.2	28.7	7.1	5.5	1.8	21.4	4.7	2.9	0.2	38.7	5.4	5.2	0.4	18.6	4.9	3.5
Trans.	0.5	7.3	3.0	1.5	1.0	9.0	3.0	1.5	0.2	20.0	3.6	2.4	1.2	9.1	4.0	1.8

Temp. = 수온(°C), Sal. = 염분, pH = 수소이온농도, DO = 용존산소(mg/L), COD = 화학적 산소요구량(mg/L), NH4 = 암모니아질소(mg/L), NO2 = 아질산질소(mg/L), NO3 = 질산질소(mg/L), TN = 총질소(mg/L), TP = 총인(mg/L), SS = 부유물질(mg/L), Trans. = 투명도(m)

### 3.2 상관분석을 이용한 수질특성 평가

계절별 측정항목들 간의 상관분석 결과는 <표 2>와 <표 3>에 제시되었다. 먼저 8월에 (암모니아질소-아질산질소), (아질산질소-질산질소) 간에 강한 양의 관계를 보여주고 있으며 (아질산질소, 암모니아질소 및 총질소)-(총인) 간에도 강한 양의 관계를 보여주고 있다. 11월에는 화학적 산소요구량이 암모니아질소, 총질소와 양의 관계를 보여 주었다. 이러한 결과로 볼 때 부산연안의 수질은 주로 질소성분이 다량 포함된 유기오염물질의 연중 공급에 의해 좌우될 것으로 해석할 수 있다.

<표 2> 2월(상단)과 5월(하단)의 분석항목 간 상관계수

	Temp.	Sal.	pH	DO	COD	NH4	NO2	NO3	TN	TP	SS	Trans.
Temp	1	0.370	0.351	-0.384	-0.049	0.269	0.034	-0.060	0.172	0.295	0.058	0.220
Sal.	-0.416	1	0.289	-0.144	0.003	-0.055	-0.143	-0.449	-0.267	-0.152	0.269	0.149
pH	0.141	0.009	1	-0.042	-0.036	0.260	-0.168	-0.137	0.115	-0.079	0.187	-0.049
DO	-0.020	0.110	0.116	1	-0.031	0.058	-0.195	0.027	0.044	-0.259	-0.123	0.042
COD	-0.076	-0.005	-0.248	0.019	1	-0.063	-0.028	0.116	0.008	-0.151	0.095	0.010
NH4	-0.213	-0.031	-0.223	-0.016	0.274	1	0.184	0.263	0.878	0.061	0.130	-0.158
NO2	-0.064	-0.137	-0.401	-0.086	0.203	0.434	1	0.141	0.267	0.071	0.221	-0.135
NO3	0.077	-0.426	-0.122	0.072	0.164	0.289	0.404	1	0.689	0.092	-0.160	-0.078
TN	-0.128	-0.220	-0.242	0.015	0.288	0.896	0.558	0.683	1	0.094	0.032	-0.164
TP	-0.500	0.059	-0.048	-0.086	0.128	0.303	0.269	0.492	0.460	1	-0.102	-0.123
SS	-0.167	-0.027	-0.255	-0.063	0.197	0.073	0.089	-0.028	0.047	-0.094	1	-0.115
Trans	0.164	-0.079	0.006	0.141	-0.068	-0.071	0.000	-0.199	-0.141	-0.334	-0.107	1

<표 3> 8월(상단)과 11월(하단)의 분석항목간 상관계수

	Temp	Sal.	pH	DO	COD	NH4	NO2	NO3	TN	TP	SS	Trans
Temp	1	-0.045	0.083	0.352	-0.020	-0.001	-0.234	-0.131	-0.111	-0.009	-0.025	0.231
Sal.	-0.051	1	0.029	0.244	-0.239	-0.075	-0.497	-0.420	-0.370	-0.238	-0.463	0.270
pH	-0.051	0.069	1	0.324	-0.064	-0.069	-0.118	0.131	0.078	-0.318	-0.329	-0.070
DO	-0.329	0.062	-0.304	1	-0.195	-0.076	-0.382	-0.185	-0.182	-0.250	-0.214	0.121
COD	-0.152	-0.204	-0.335	0.036	1	0.177	0.265	0.207	0.228	0.329	0.191	-0.247
NH4	-0.223	-0.457	-0.018	-0.047	0.627	1	0.604	0.454	0.696	0.564	0.024	-0.088
NO2	-0.070	0.132	-0.256	0.071	0.418	0.178	1	0.732	0.801	0.624	0.317	-0.303
NO3	-0.234	-0.076	0.038	0.109	0.226	0.285	0.344	1	0.955	0.445	0.245	-0.249
TN	-0.284	-0.308	0.007	0.047	0.522	0.768	0.359	0.832	1	0.551	0.211	-0.234
TP	0.172	0.088	-0.348	-0.013	0.312	0.059	0.410	0.489	0.368	1	0.204	-0.190
SS	-0.187	0.039	0.343	-0.012	-0.237	-0.087	-0.159	0.204	0.079	0.076	1	-0.272
Trans	0.310	0.158	-0.116	-0.191	-0.045	0.121	-0.131	-0.136	-0.024	-0.084	-0.241	1

### 3.3 계절별 주성분 분석

<표 4>와 <표 5>는 계절별로 10개의 관측점에서 각각 측정된 12개 항목을 이용하여 주성분분석을 실시한 결과이며, 각 주성분에 대한 고유값(eigenvalue), 기여율(percent), 누적 기여율(cumulative percent), 요인 적재값(factor loading value), 공통분산(communality)의 값들을 제시하였다.

주성분분석을 실시한 결과 2월은 제 5주성분까지, 5월, 8월 11월은 각각 제 4주성분까지 도출할 수 있었고, 계절별 주성분들의 누적 기여율은 각각 71.5%, 64.6%, 70.8%, 68.8%를 나타냈다. 그리고 계절별에 따른 제 1주성분의 기여율은 2월이 21.5%를 제외하면 다른 조사월은 약 30% 내외의 값을 나타내고 있다. 또한 제 2 주성분까지의 누적 기여율을 살펴보면, 2월, 5월, 11월은 약 40% 내외, 8월은 약 50% 정도로 나타났다. 따라서 부산연안의 수질은 다수의 주성분이 관여하고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 정보의 손실은 다소 있겠지만, 해석의 간편성을 위해 주로 제 1주성분과 제 2 주성분을 위주로 요인적재 값의 분포도를 이용해서 계절별로 부산연안의 수질특성을 해석 하였다.

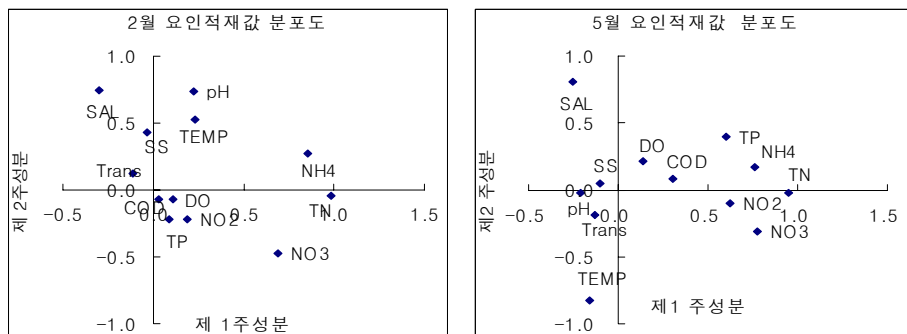
<표 4> 계절별(2월과 5월) 주성분 분석

	2월						5월				
	1주성분	2주성분	3주성분	4주성분	5주성분		1주성분	2주성분	3주성분	4주성분	
주성분						공통분산					공통분산
고유값	2.578	2.102	1.469	1.325	1.111		3.361	1.759	1.445	1.192	
기여율	21.486	17.516	12.238	11.040	9.260		28.009	14.656	12.039	9.936	
누적기여율	21.486	39.001	51.240	62.280	71.541		28.009	42.665	54.704	64.640	
측정항목	요인적재값						요인적재값				
	1주성분	2주성분	3주성분	4주성분	5주성분		1주성분	2주성분	3주성분	4주성분	
Temp.	0.231	0.524	<b>0.667</b>	-0.241	-0.009	0.831	-0.159	<b>-0.822</b>	-0.123	0.192	0.753
Sal.	-0.297	<b>0.749</b>	0.125	-0.019	0.131	0.682	-0.252	<b>0.810</b>	0.018	0.119	0.734
pH	0.227	<b>0.737</b>	-0.059	-0.033	-0.133	0.617	-0.209	-0.018	<b>-0.726</b>	0.006	0.572
DO	0.112	-0.067	<b>-0.790</b>	-0.189	-0.112	0.689	0.138	0.211	-0.279	<b>0.644</b>	0.556
COD	0.034	-0.073	-0.021	0.018	<b>0.811</b>	0.665	0.305	0.086	<b>0.473</b>	0.073	0.330
NH4	<b>0.856</b>	0.271	-0.006	0.161	-0.117	0.846	<b>0.763</b>	0.166	0.245	0.120	0.685
NO2	0.187	-0.220	0.317	<b>0.613</b>	0.128	0.576	<b>0.625</b>	-0.099	0.382	0.017	0.546
NO3	<b>0.693</b>	-0.475	0.040	-0.080	0.175	0.744	<b>0.773</b>	-0.307	-0.132	-0.226	0.760
TN	<b>0.980</b>	-0.044	0.034	0.118	0.007	0.978	<b>0.946</b>	-0.018	0.145	-0.011	0.916
TP	0.085	-0.218	<b>0.642</b>	-0.033	-0.450	0.671	<b>0.604</b>	0.397	-0.201	-0.469	0.784
SS	-0.035	0.426	0.016	<b>0.663</b>	0.255	0.687	-0.100	0.045	<b>0.695</b>	-0.164	0.522
Trans.	-0.115	0.125	0.134	<b>-0.650</b>	0.361	0.599	-0.128	-0.190	0.054	<b>0.738</b>	0.600

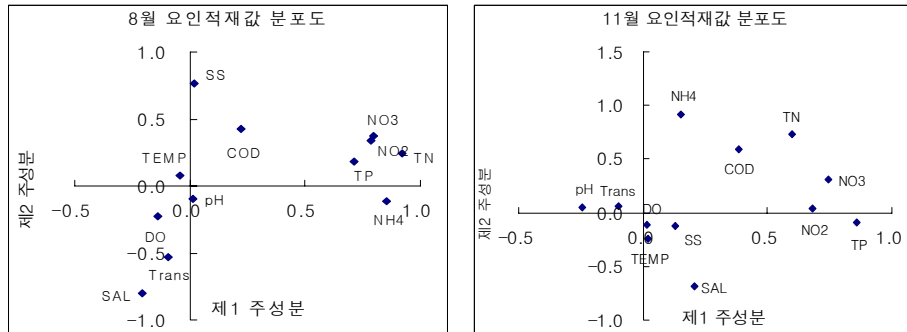
<표 5> 계절별(8월과 11월) 주성분 분석

주성분	8월				공통 분산	11월				공통 분산
	1주성분	2주성분	3주성분	4주성분		1주성분	2주성분	3주성분	4주성분	
고유값	4.316	1.662	1.304	1.217		3.327	1.860	1.649	1.417	
기여율	35.965	13.854	10.869	10.139		27.726	15.498	13.740	11.808	
누적 기여율	35.965	49.819	60.687	70.827		27.726	43.224	56.964	68.773	
측정항목	요인적재값					요인적재값				
	1주성분	2주성분	3주성분	4주성분		1주성분	2주성분	3주성분	4주성분	
Temp.	-0.042	0.077	-0.009	<b>0.914</b>	0.842	0.020	-0.240	-0.123	<b>0.781</b>	0.683
Sal.	-0.206	<b>-0.799</b>	-0.050	-0.026	0.685	0.205	<b>-0.681</b>	0.000	-0.022	0.507
pH	0.011	-0.099	<b>0.901</b>	0.078	0.828	-0.243	0.048	<b>0.801</b>	0.087	0.711
DO	-0.141	-0.227	0.442	<b>0.603</b>	0.630	0.017	-0.110	-0.337	<b>-0.736</b>	0.667
COD	0.220	<b>0.430</b>	-0.134	-0.019	0.251	0.386	<b>0.595</b>	-0.427	-0.069	0.690
NH4	<b>0.854</b>	-0.114	-0.120	0.067	0.762	0.153	<b>0.920</b>	-0.062	0.006	0.874
NO2	<b>0.796</b>	0.371	-0.080	-0.261	0.846	<b>0.679</b>	0.043	-0.302	-0.102	0.565
NO3	<b>0.788</b>	0.337	0.259	-0.142	0.822	<b>0.746</b>	0.305	0.314	-0.199	0.787
TN	<b>0.919</b>	0.241	0.163	-0.099	0.939	<b>0.600</b>	0.731	0.162	-0.130	0.936
TP	<b>0.711</b>	0.180	-0.417	0.021	0.711	<b>0.857</b>	-0.092	-0.097	0.123	0.768
SS	0.021	<b>0.768</b>	-0.291	-0.005	0.675	0.128	-0.126	<b>0.734</b>	-0.237	0.627
Trans.	-0.096	<b>-0.534</b>	-0.263	0.378	0.507	-0.097	0.062	-0.222	<b>0.613</b>	0.439

아래 <그림 2>과 <그림 3>는 각각 2월과 5월 및 8월과 11월의 제 1주성분과 제 2주성분의 요인 적재값에 대한 분포도를 나타낸 것이다.



<그림 2> 2월과 5월 자료에 대한 요인적재값 분포도



<그림 3> 8월과 11월 자료에 대한 요인적재값 분포도

위의 <그림 2>과 <그림 3>에서 보는 바와 같이, 계절별로 다소 차이는 있으나 부산연안의 수질을 가장 잘 설명할 수 있는 제 1주성분은 주로 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 총질소 및 총인 등 영양염류 성분과 강한 양의 관계를 보이고 있고 염분과는 음의 관계를 보이고 있으므로 영양염류가 풍부한 담수 유입에 의해 수질변동이 일어나고 있음을 시사하므로 제 1주성분을 육지로부터 유입되는 담수와 무기 영양염류에 의한 변동요인으로 해석할 수 있었다.

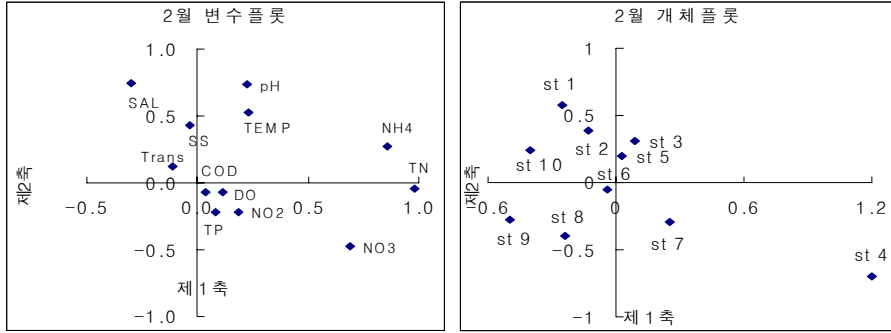
그리고 제 2주성분도 계절에 따라 약간의 차이를 보이고 있으나 2월과 5월에는 염분과 양의 관계를 보이고 있고 8월과 11월에는 각각 부유물질과 화학적 산소요구량, 암모니아질소 등과 강한 양의 관계를 보이며 염분과는 음의 관계를 보이고 있다. 이러한 결과로 볼 때 2월과 5월에는 생물생산에 의한 요인이 크게 작용하고 있는 것으로 판단되며, 8월과 11월에는 여름철 집중 강우로 인해 부유물질이 증가하고 염분이 낮아졌기 때문으로 판단된다. 그러므로 제 2주성분은 기상학적 특성을 반영하는 요인으로 해석할 수 있다.

그러므로 이러한 결과를 종합해 볼 때 부산연안의 수질변동에 가장 큰 영향을 미치는 주요인은 질소성분이 다량 함유된 산업폐수나 생활하수인 것으로 판단되었다.

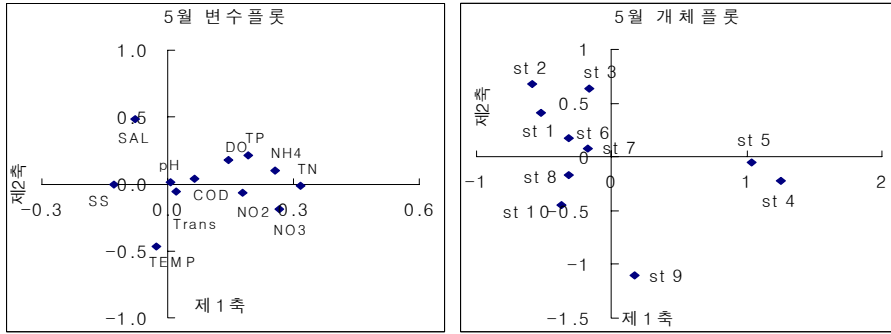
### 3.4 계절별 수질관측점의 군집화

부산연안에 위치한 10개의 주요 수질관측점에 대해서 주성분분석 결과를 이용한 계절별 군집분석을 실시하여 서로 유사한 수질특성을 갖는 관측점들로 군집화 하였다. 수질 관측점을 군집화하기 위해 single-linkage agglomeration hierarchical 방법을 적용하였으며, 또한 관측점들의 유사성을 거리로 환산하기 위해 2월, 5월, 8월 및 11월의 수질관측점별 유클리디안 거리행렬을 기초로 동질적인 관측점이 군집화 되어가는 과정을 덴드로그램으로 표시하였다. 그리고 이 결과를 효과적으로 해석하기 위해 주성분분석에서 나타난 변수들의 고유벡터를 이용하여 변수플롯과 개체플롯을 <그림 4>, <그림 5>, <그림 6> 및 <그림 7>에 제시하였으며 동일 군집이 가진 특성을 분석하였다.

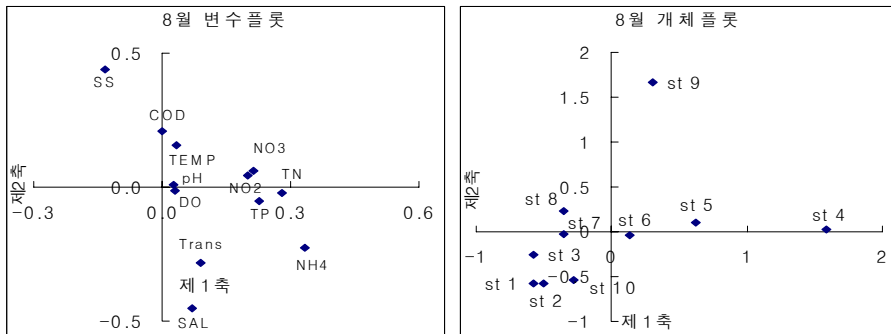




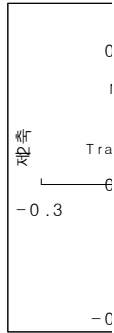
<그림 4> 변수플롯과 개체플롯(2월 자료)



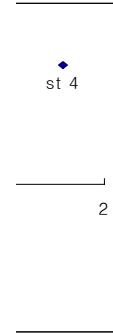
<그림 5> 변수플롯과 개체플롯(5월 자료)



<그림 6> 변수플롯과 개체플롯(8월 자료)



계절별로 2월과 11월에는 관측점 있음을 알 수 있을 중심으로 군집화한다. <그림 8>은 8월의 군집화가 이들과 같고, 수질 특성을 가진 매우 다른 수질 관측점과 매우 유사한 수질 특성을 가진 관측점 3개 분류할 수 있다.



그리고 8월과 수질 특성을 갖고 있지만, 8월(여름)

따라 관측점간서 알 수 있는 가장 유사한 관측점에 대해서 1번, 2번, 4번 관측점을 2개의 관측점으로 분류 (7, 8, 10)으로

<그림 8> 8월 자료에 대한 텐드로그램

위의 군집분석 결과를 <그림 6>의 변수플롯과 개체플롯을 이용하여 좀 더 효과적으로 해석해 본다면, 변수플롯의 X축 양의 방향은 암모니아질소, 총질소, 질산질소,

아질산질소, 총인 등과 관련된 특성치가 높아서 무기 영양염류에 의한 변동으로 해석할 수 있다. 그리고 Y축의 양의 방향은 부유물질, 화학적 산소요구량의 특성치가 높고, 음의 방향으로서는 염분, 투명도의 특성치가 높아서 Y축은 여름철 집중 강우로 인한 기상학적 특성을 반영하는 요인으로 해석할 수 있다.

또한 <그림 6>의 개체플롯에서 알 수 있는 바와 같이 10개의 수질관측점은 크게 3개의 군집 (9), (4), (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10)으로 분류됨을 알 수 있으며, 이는 <그림 8>의 군집분석 결과 덴드로그램과도 일치함을 알 수 있다. 관측점 4번은 다른 군집에 비해 질소와 관련된 특성치가 매우 높고, 부유물질과 염분이 매우 낮은 특성을 보이고 있어서 특히 무기영양 염류에 영향을 많이 받는 정점이라 할 수 있다. 그리고 9번 관측점은 다른 군집에 비해 부유물질 및 화학적 산소요구량의 특성치가 매우 높고, 염분 및 질소와 관련된 특성치가 낮은 특징을 갖고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로 볼 때 9번 관측점은 우리나라 기상학적 특성의 하나인 하계의 집중호우로 인해 수영강과 낙동강을 통해 유입되는 담수와 오염물질에 영향을 크게 받고 있는 것으로 사료된다(신, 박, 송(1998), 조, 이, 박(1995)). 그 외의 관측점 (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10)은 4번과 9번 관측점에 비해 상대적으로 무기영양염류와 담수 및 오염물질의 영향을 적게 받는 정점들임을 알 수 있다.

#### 4. 결론

1997년부터 2003년까지 부산연안의 10개 조사점에서 조사된 수질분석 결과를 이용하여 주성분분석을 실시하였으며 각 조사점별로 군집분석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 주요 조사항목의 계절별 평균값의 변동은 화학적산소요구량의 경우 1.6 ~ 2.0 mg/l 범위였으며 총질소는 0.197 ~ 0.464 mg/l 범위였고, 총인은 0.025 ~ 0.056 mg/l 범위인 것으로 나타났다.

2. 분석항목간 상관관계를 분석한 결과, 계절에 따라 다소 차이는 있었으나 주로 영양염류간에 높은 상관성을 보이고 있으므로 이 성분이 부산연안의 수질을 구분지을 수 있는 특성일 것으로 판단되었다.

3. 계절별로 주성분분석을 실시한 결과, 제 2주성분까지의 누적기여율은 2, 5, 11월에는 약 40% 내외, 8월에는 약 50%인 것으로 나타났으며 제 1주성분은 영양염류가 풍부한 담수의 유입에 의한 변동요인으로, 제 2주성분은 기상학적 현상에 의해 변동되는 특성으로 해석할 수 있었다.

4. 군집분석을 통해 계절별로 부산연안의 10개 조사점의 수질을 3개 군집으로 분류해 본 결과, 2월에는 (4), (1) 그리고 그 외 조사점으로 분류되었으며, 5월에는 (9), (4, 5) 및 (1, 2, 3, 6, 7, 8, 10)으로 분류할 수 있었다. 8월에는 (4), (9) 및 (1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10)으로 분류되었고, 11월에는 8월과 같은 패턴으로 분류되었다. 조사점 중 (1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10)점은 계절별 뚜렷한 특징을 보이지 않았으며 (4)와 (9)점은 각각 수영강과, 낙동강으로 유입되는 영양염류가 풍부한 담수의 영향으로 나머지 조사점과는 구별되는 수질특성을 보였다.

## 참고문헌

1. 국립수산과학원, (1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003)  
한국해양환경조사연보
2. 박영철, 양한섭, 이필용, 김평중 (1995), 겨울철 부산항 주변해역의 수질과 표층퇴적물 환경특성, *한국수산학회지*, 28, 577-588.
3. 신성교, 박청길, 송교욱 (1998), 주성분 분석법을 이용한 낙동강 하구 해역의 수질 평가, *한국환경과학회지*, 7, 171-176.
4. 여환구, 박미옥 (1997), 진해만 동부 해역내 식물플랑크톤 군집과 수질환경의 계절 변동, *한국환경과학회지*, 6, 231-238.
5. 오영민, 백성옥 (1984), 주성분 분석을 이용한 하천수질 자료의 해석, *대한환경공학회지*, 6, 56-62.
6. 윤양호, 박종식 (2000), 주성분분석에 의한 거금수도의 수질환경 및 식물플랑크톤 변동 요인 해석, *한국환경과학회지*, 9, 1-11.
7. 이흥재, 이형진, 한진석, 권숙표 (1991), 주성분분석에 의한 인천연안 수질의 평가, *한국물환경학회(구 한국수질보전학회)*, 7, 9-19
8. 조은일, 이석모, 박청길 (1995), 수영만 수질에 미치는 비점원 오염부하의 특성과 영향, *한국수산학회지*, 28, 279-293.
9. Bartels, J. H. M., Janse, T. A. H. M and Pijpers, F. W.(1985).  
Classification of the quality of surface waters by means of pattern recognition, *Analytica Chimica Acta*, 177, 35-45.
10. Carlson, R. E., (1977), A trophic index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 21, 361-369.
11. Parinet, B., Lhote A., and Legube, B. (2004). Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management-application to a tropical lake system, *Ecological Modelling*, 178, 295-311.

[ 2004년 6월 접수, 2004년 8월 채택 ]