

## 다변량 해석기법에 의한 금강 하구역의 수질평가

김 종 구  
군산대학교 해양환경공학과  
(1998년 6월 28일 접수)

### Evaluation of Water Quality in the Keum River Estuary by Multivariate Analysis

Jong-Gu Kim

Dept. of Marine Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan, 573-400, Korea  
(Manuscript received 28 June 1998)

This study was conducted to evaluate water quality in the Keum River estuary using principal component analysis. The results was summarized as follow;

Water quality in the Keum River estuary could be explained up to 70.40% by three factors which were included in the influent loading by the Keum River and Kyungpo cheon(38.99%), seasonal variation and organic matter pollution(19.05%), sediment resuspension and internal metabolism(12.35%).

For spatial variation of factor score, artificial pollutant loading is highest at st.1, below Keum River barrage, and decreases toward the outer sea.

For annual variation of factor score, factor 1 was highly related to artificial pollutant loading, and it was greatly increased in 1994. Also, organic matter pollution, sediment resuspension and internal metabolism were increased to every year.

It is necessary to control the nutrient loading by Keum river and Kyongpo cheon for Water quality management of estuary.

Key words : water quality, multivariate analysis, factor loading, factor score, Keum River Estuary

#### 1. 서 론

금강하구역은 지역적으로 서해 중부지역에 위치하고 있으며, 우리나라 4대강의 하나인 금강의 하류부의 일부로서 서해의 요충지로서 발전하고 있는 지역이다. 이에 맞추어 서해안 개발이라는 국가정책의 일환으로 준장국가공단개발 사업이 추진중에 있으며, 전라북도에서 시행하는 우리나라의 대단위 간척사업인 새만금지구 사업구역의 일부를 이루고 있는 곳이다.

일반적으로 하구역은 담수와 해수가 혼합되는 완충지대로서 끊임없이 주기적으로 변화를 일으키고 있으며, 상대적으로 외부의 영향을 쉽게 받는 해역이다. 특히 금강하구역은 금강의 영향을 가장 크게 받고 있으며, 인근에 위치한 군산시 및 장항으로부터의 환경적 영향을 직접적으로 받는 곳이기도 하다.

하구해역의 수질평가는 상류의 오염부하인자와 해수 유동에 의한 변화, 저층에서의 기여도, 내부물질대사 등 여러 요인에 의해서 지배되고 있고, 이들 지역은 지질별 계절별 특징이 뚜렷하게 작용하기 때문에 상대적으로 복잡하다.

이러한 하구역의 환경관리를 위해서는 장기적이고 체계적인 조사와 아울러 그 해역에 미치는 환경적 변수의 정확한 도출 및 상호영향의 평가를 통한 체계적인 관리가 중요하다고 하겠다.

다변량분석은 일반적으로 연구대상으로부터 측정된 2개 이상의 변수들의 관계를 동시에 분석할 수 있는 모든 통계적인 기법을 말하는 것으로, 요인분석, 회귀분석, 다변량분산분석, 판별분석, 군집분석 등 여러 가지의 기법이 있다. 이들 중 여러 변수의 상관관계를 기초로 하여 정보의 손실을 최소화하면서 변수의 개수를 보다 적은 수의 요인으로 자료변동을 설명하는 기법인 요인분석을 통하여 해석하고자 한다.

요인분석은 자원생태분석이나 대기오염 현상해석에 많이 적용되어온 방법으로 여러 항목이 복잡하게 연관되어 있어 직접적인 해석이 어려운 항목간의 관계를 보다 간결하게 묶음으로서 그 특징을 쉽게 해석하고 평가하는데 있다.

이러한 분석기법의 수질평가에 적용은 하천에서의 수질오염평가에 이용하였고(中路勉 外 2人, 1979), 이후 해양에 적용되어 해양특성 및 수질평가, 해황해석, 적조도 조사, 적조에측 등의 많은 분야에 이용되어져 왔다

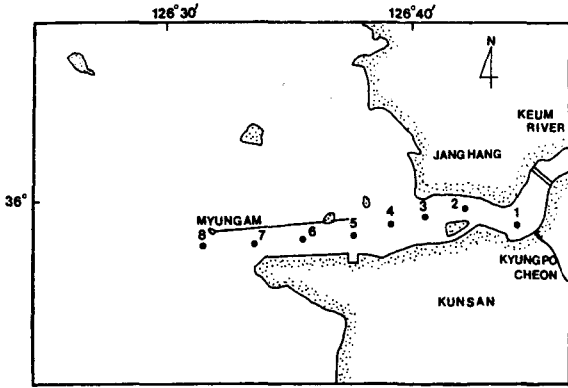


Fig. 1. Location of sampling stations in Keum river estuary.

(大内晟, 1984 ; 太田立男 外, 1986 ; 大内晟、高山晴義, 1981 ; 伊勝伸一 外, 1981 ; 村上和男, 1987 ; 大内晟, 1982 ; 坂本博明 外, 1988). 국내에서의 연구는 요인분석을 통한 진해만의 생태계 변화요인 평가(홍순우 외, 1986), 주성분분석법을 통한 인천연안의 수질평가(Lee et al., 1991), 다변량해석을 통한 마산만 저층수의 수질평가(이무강 외, 1996)와 주성분분석법에 의한 낙동강 하구해역의 수질평가(신성교 외, 1997) 등이 보고되었다.

이와 같이 다변량해석은 복잡한 수질의 특성을 가지는 하구역에 있어서 수질 결정요인을 해석하고 평가하는데 유용한 방법이라 할 수 있다.

본 연구에서는 수질특성이 복잡한 금강하구역의 종합적인 수질평가를 위하여 다변량해석기법중 주성분분석을 적용하여 하구역의 수질결정인자를 도출하고 시·공간적인 특성에 따른 수질을 결정하는 주요인을 조사하여 적절한 수질관리대안을 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 대상해역 및 자료도출

금강하구는 하구둑 공사전에 반일주조가 우세한 형태이며, 조석은 상류로 가면서 하상의 마찰과 하도의 모양 및 담수유입 등으로 인하여 심하게 변형되는 지역이다. 금강하구둑 건설전 군산내·외항에서 창낙조류의 대조기 최강유속은 0.5~1.0knot이며, 대체로 창조유속이 낙조유속보다 큰 일반적인 하천조석의 특징을 가지고 있다. 금강하구둑 공사이후 조류유속은 1/2정도로 감소하였고, 창조류는 군산항 전역에 걸쳐 동류하여 흐르며, 군산항 입구에서의 평균 대조기 최강유속은 2.2knot로 흐르고, 낙조류는 서류하여 흐르며 평균 대조기 최강유속은 1.4knot 정도이다(전설교등부, 1996).

금강하구로 유입되는 오염원으로는 금강분류와 하구둑 아래 군산생활하수가 유입되는 경포천이 있다.

금강하구역의 수질자료는 금강하구둑 아래 지점 1에서부터 21km 떨어진 명암앞 지점 8까지를 조사해역으로 하여 총 8개 정점에서 매년 계절별(2월, 4월, 8월, 11월) 조사를 실시하여 발표된 국립수산진흥원에서 발간한 한국연안어장 환경오염조사 결과보고서의 자료중

1989년부터 1994년까지 발표된 6년간의 연속 관측자료를 이용하였다(Fig. 1).

측정항목별 분석방법을 보면, 수온, 염분, pH, DO는 현장조사시 수질분석기(Hydrolab Surveyor III)로 현장에서 측정하였고, COD, 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 인산염, 부유물질은 환경오염공정시험법(1992) 및 Strickland & Parson법(1972)으로 분석되었다.

2.2 주성분 분석

최초 분석된 자료를 이용하여 주성분분석을 행하기 전에 각 항목의 측정치를 평균 0, 분산 1로 표준화를 행하였다. 이들 전체변수중 보다 간결하고 명료한 관계를 가지는 요인을 추출하기 위하여 각 변수간의 상관행렬을 이용해서 주대각선상의 값을 변형시키지 않는 그대로 공통분산치 1.0의 값을 추정치로하여 요인행렬을 추출하는 주대각성분 요인추출법을 이용하였다. 최초요인을 추출한 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 주는 Varimax방식을 적용하였다.

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

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

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.

주성분분석을 위한 통계처리는 SPSS for window release 7.51을 이용하여 분석하였다(강병서 외 1인, 1997).

3. 결과 및 고찰

3.1 수질특성 및 항목간의 상관분석

금강하구역 수질특성을 알아보기 위해 1989년부터 1994년까지 6년간의 자료를 이용하여 지점별 변동범위 및 평균값, 그리고 자료의 표준편차를 구하여 Table 1에 나타내었다.

전체적인 수질오염 정도는 수질환경기준 II~III등급에 해당되며, 부유토사의 농도가 상대적으로 높은 경향을 가지고 있고, 수질의 변화 특성은 상류 지점1에서부터 외해 쪽으로 갈수록 오염의 정도가 감소하는 경향을

다변량 해석기법에 의한 금강 하구역의 수질평가

Table 1. Range and mean values of water quality in Kunsan estuary

Station		1	2	3	4	5	6	7	8
COD (mg/l)	Mean	1.82	1.63	1.40	1.33	1.36	1.36	1.22	1.18
	Range	0.66-2.94	0.45~3.26	0.48~2.80	0.43~2.57	0.45~2.63	0.58~2.62	0.44~2.35	0.08~2.33
	Std.Dev.	0.64	0.71	0.58	0.59	0.65	0.58	0.51	0.59
DO (ml/l)	Mean	5.92	6.02	5.98	6.08	6.14	6.20	6.30	6.24
	Range	3.87-7.34	3.55~7.69	3.45~7.72	3.65~7.46	3.61~7.66	3.90~7.74	3.92~7.99	4.33~8.26
	Std.Dev.	1.13	1.27	1.35	1.12	1.12	1.22	1.75	1.14
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (μg-at/l)	Mean	12.17	9.94	9.57	7.84	5.87	5.01	3.70	2.85
	Range	0.53-81.91	0.10~62.92	0.47~83.59	0.72~52.68	0.54~38.70	0.17~26.57	0.10~19.95	0.16~12.11
	Std.Dev.	16.67	13.12	16.76	10.72	7.53	6.20	4.33	3.02
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (μg-at/l)	Mean	2.46	2.23	1.65	1.57	1.48	1.20	1.05	0.87
	Range	0.33-5.81	0.23~10.76	0.16~4.85	0.10~4.02	0.17~5.35	0.04~4.44	0.02~6.93	0.01~6.51
	Std.Dev.	1.67	2.30	1.32	1.24	1.35	1.21	1.49	1.36
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (μg-at/l)	Mean	34.47	7.91	25.93	23.78	21.60	15.75	12.06	9.99
	Range	4.10-76.33	7.29~8.17	4.61~68.66	6.02~58.57	4.45~76.89	3.68~58.26	0.88~54.40	0.23~46.68
	Std.Dev.	18.04	0.24	15.54	13.75	15.14	13.74	11.30	11.52
pH	Mean	7.70	7.80	7.84	7.95	7.92	7.96	8.03	8.08
	Range	7.26-8.14	7.29~8.17	7.23~8.31	7.33~8.42	7.37~8.24	7.31~8.30	7.35~8.34	7.64~8.38
	Std.Dev.	0.22	0.23	0.26	0.24	0.23	0.25	0.22	0.17
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (μg-at/l)	Mean	0.78	0.78	0.67	0.67	0.62	0.63	0.59	0.45
	Range	0.12-2.38	0.08~2.23	0.05~2.08	0.05~1.94	0.01~1.59	0.01~1.84	0.01~1.98	0.01~1.84
	Std.Dev.	0.55	0.57	0.54	0.49	0.48	0.47	0.48	0.39
Salinity (%)	Mean	15.12	12.11	19.17	20.83	22.30	24.02	26.76	27.61
	Range	1.82-26.28	0.38~27.70	0.45~29.01	2.90~28.12	2.63~30.04	6.71~32.03	12.56~31.99	13.40~32.52
	Std.Dev.	7.82	7.94	8.15	6.92	7.52	6.87	5.15	4.79
TSS (mg/l)	Mean	107.59	105.66	96.44	98.95	67.32	64.90	60.40	53.00
	Range	19.70-265.60	7.40~32.00	11.50~260.00	10.40~387.80	6.70~210.00	7.36~199.20	8.00~197.70	5.00~140.00
	Std.Dev.	70.10	77.70	69.13	103.50	53.08	55.55	47.88	42.83
Temp. (°C)	Mean	13.60	13.65	13.60	13.64	13.57	13.52	13.30	13.34
	Range	1.52-29.80	1.92~29.90	2.38~29.80	2.15~29.45	2.17~29.00	2.10~28.98	2.30~28.40	2.40~27.78
	Std.Dev.	9.15	8.95	8.90	8.87	8.89	9.08	8.75	8.60

Table 2. Correlation matrix

	COD	DO	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	pH	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Salinity	TSS	Temp.
COD	1.000									
DO	-0.473	1.000								
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	0.016	0.138	1.000							
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0.247	-0.399	-0.185	1.000						
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0.268	-0.215	0.350	0.252	1.000					
pH	-0.525	0.476	-0.213	-0.447	-0.440	1.000				
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	0.261	-0.410	-0.199	0.526	0.298	-0.297	1.000			
Salinity	-0.451	0.377	-0.216	-0.496	-0.517	0.685	-0.477	1.000		
TSS	-0.170	0.219	0.211	0.223	0.177	-0.055	-0.008	-0.166	1.000	
Temp.	0.434	-0.852	-0.246	0.330	0.207	-0.292	0.449	-0.347	-0.308	1.000

나타내고 있었다.

본 연구에서 사용된 전체자료에 대해서 측정항목간의 상관관계를 계산한 단순상관행렬을 Table 2에 나타내었다. 계절변동 인자인 수온과 용존산소는 높은 부의 상관성을 보인 반면, 물질산화와 관련된 인자와 용존산소간에는 낮은 부의 상관성을 보여 물질산화에 의한 영향이 상대적으로 적은 것으로 나타났는데, 이는 용존산소가 하구에서 조석에 의해 더 큰 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다. 염분과 pH간에는 정의 상관성을 보였는데, 이들 두인자는 모두 담수의 영향과 직접적인 관계가 있

는 항목이기 때문이다.

3.2 주성분분석

금강하구역에서 1989년부터 1994년까지 8년간 총 10개의 수질항목을 대상으로 조사된 자료를 이용하여 주성분분석을 행한 결과 나타난 10개 요인의 고유치와 수질에 미치는 기여율을 Table 3에 나타내었다.

추출된 10개의 최초요인중 보다 나은 해석을 위하여 주대각성분 추출방법에 의해서 요인수를 결정한다. 이때 요인수를 결정하는데는 여러방법이 있으나, 본 연구

Table 3. Eigen value and cumulative percentage of factors

Factor	Eigen value	% of variance	Cumulative %
1	3.899	38.99	38.99
2	1.905	19.05	58.04
3	1.235	12.35	70.40
4	0.715	7.15	77.55
5	0.617	6.17	83.71
6	0.486	4.86	88.57
7	0.427	4.27	92.84
8	0.340	3.39	96.24
9	0.277	2.77	99.00
10	0.099	1.00	100.00

Table 4. Rotated factor matrix extracted from principal component analysis

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
COD	0.464	-0.594	0.119
DO	-0.212	0.755	-0.389
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	0.705	0.251	-0.454
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0.214	-0.031	0.845
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0.738	-0.016	0.179
pH	-0.726	0.286	-0.294
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	0.138	-0.232	0.745
Salinity	-0.719	0.154	-0.463
TSS	0.269	0.728	0.327
Temp.	0.080	-0.793	0.398

에서는 고유치(eigen value) 기준으로 판단하였다. 고유치는 요인을 설명하는 분산의 크기를 나타낸 것으로서 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 의미가 없어 제외하고 1.0 이상이 되는 3개 요인을 추출하였다.

요인 1의 고유치는 38.99%, 요인 2는 19.05%, 요인 3은 12.35%로서 요인 1을 제외하고는 평균 15%내외의 기여율을 나타내었다. 이들 요인 1부터 3가지의 누적기여율은 70.4%로써 전체 수질변동의 70.4%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다.

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

요인 1은 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N과는 정의 인자부하량을 갖고 있으며, pH와 염분과는 음의 부하량의 상관성을 갖고 있었다. 이들은 부영양화 관련인자 및 담수유입에 의한 물리적변화와 관련성이 있었다. 요인 2는 COD, 온도와는 음의 인자부하량을 가지며, DO와 TSS와는 정의 인자부하량을 나타내었다. 이들은 계절적 변동을 하는 변수와 유기물 및 탁도 관련 변수로 나타났다. 인자 3은 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P와 높은 정의 인자부하량을 가지고 있어 물질변환과정을 설명하는 변수로 구성되었다.

요인 1은 외부적 요인에 주로 기인되는 인자로서 하

Factor loading with varimax rotation for factor 1 and factor 2

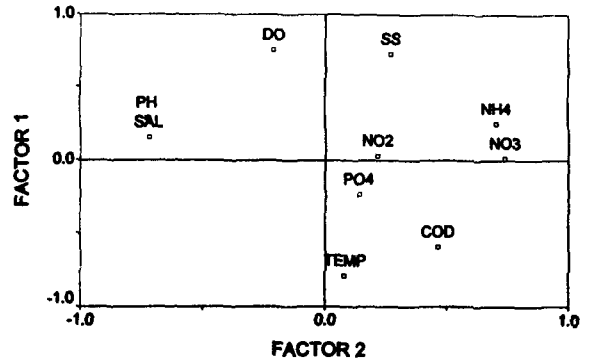


Fig. 2. Factor loading with Varimax rotation for factor 1 and factor 2.

Factor loading with varimax rotation for Factor 1 and factor 3

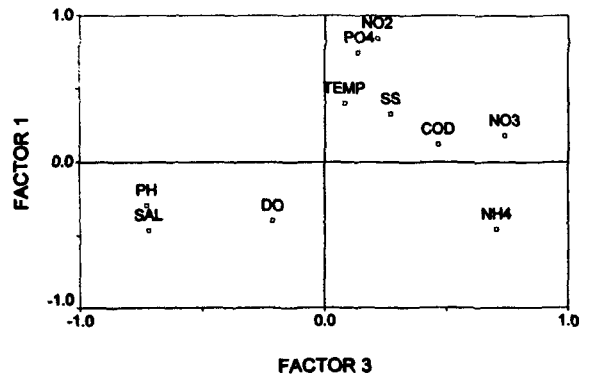


Fig. 3. Factor loading with Varimax rotation for factor 1 and factor 3.

Factor loading with varimax rotation for factor 2 and factor 3

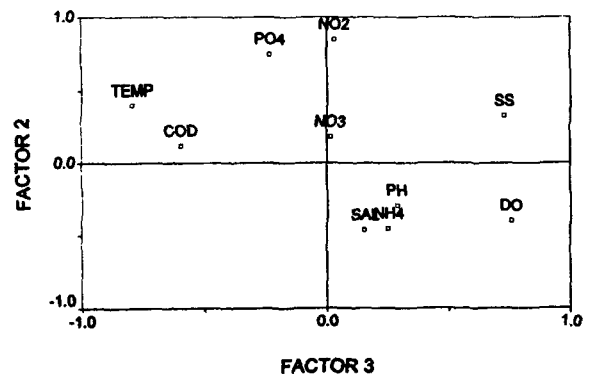


Fig. 4. Factor loading with Varimax rotation for factor 2 and factor 3.

천의 오염부하에 의한 부영양화 관련인자인 질소성분의

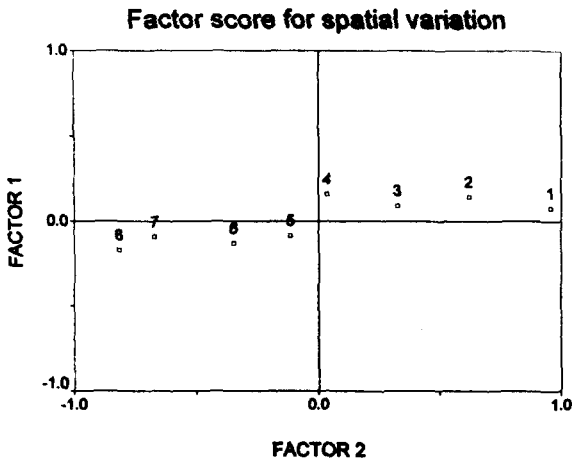


Fig. 5. Factor score of spatial variation for factor 1 and factor 2.

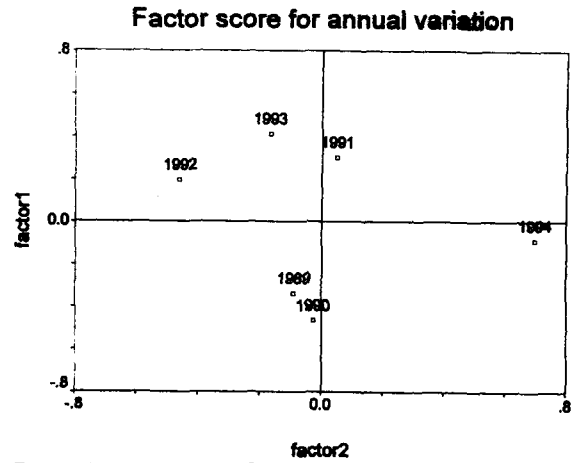


Fig. 8. Factor score of annual variation for factor 1 and factor 2.

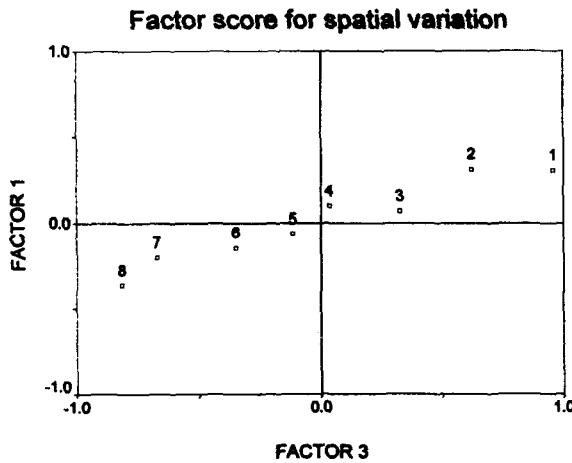


Fig. 6. Factor score of spatial variation for factor 1 and factor 3.

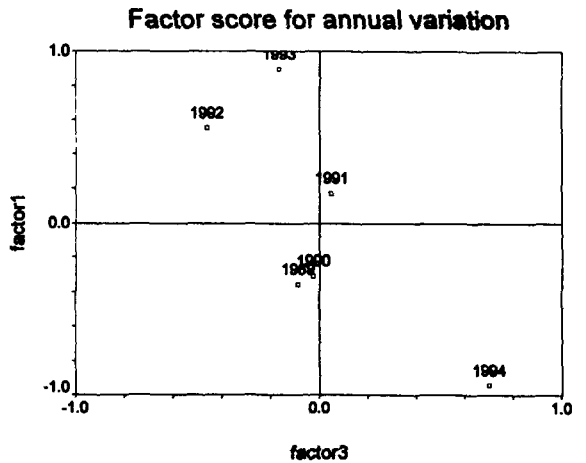


Fig. 9. Factor score of annual variation for factor 1 and factor 3.

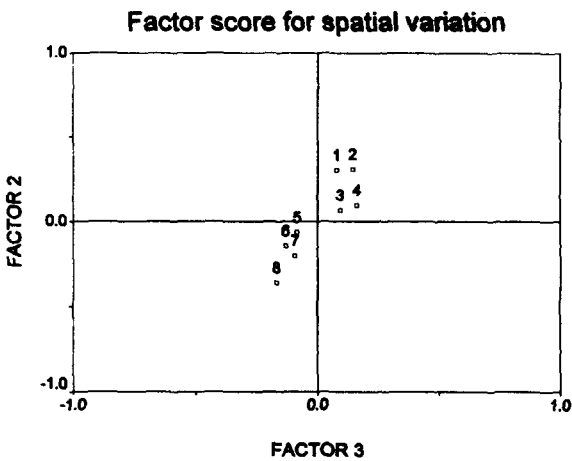


Fig. 7. Factor score of spatial variation for factor 2 and factor 3.

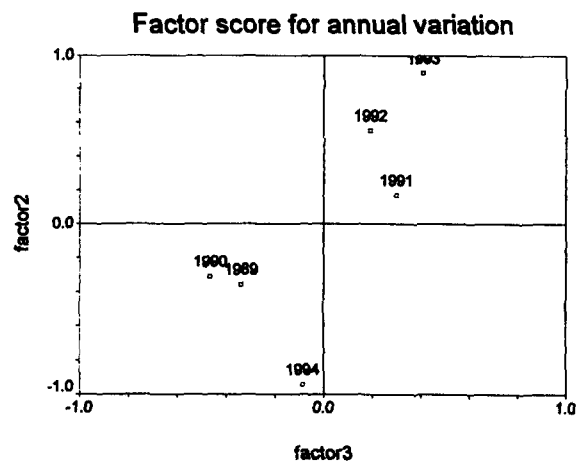


Fig. 10. Factor score of annual variation for factor 2 and factor 3.

증가와 담수유입에 따른 해수와의 물리적 혼합 및 희석 과정으로 나타나는 pH 및 염분의 변화로 설명되는 요인

으로 Fig. 2와 3에서도 이를 잘 나타내고 있다. 이는 금강하구역이 금강 및 경포천을 통한 담수유입에 크게 영

Table 5. The principal component for each station, season and year

Component		Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Total		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, pH, Sal.	COD, DO, TSS, Temp.	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	
Each station	st. 1	DO, Temp., PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, TSS	COD, pH	
	st. 5	COD, pH, Sal, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	TSS, Temp., NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	
	st. 8	pH, Sal., NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (TSS, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N)	DO, Temp.(COD)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N
Each season	Feb.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, pH, Sal., TSS	COD, DO, Temp.	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	
	April	DO, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, pH, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P, Temp.	COD, Sal.	TSS	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N
	August	COD, TSS, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	pH, Sal., NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	DO, Temp.	
	Nov.	pH, Sal., NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	COD, TSS, Temp.	DO, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N
Each year	1989	DO, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P, Temp.	pH, Sal., NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	COD, TSS, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	
	1990	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P, pH, Sal.	DO, Temp.	COD	
	1991	DO, Temp, pH, Sal., NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	COD, TSS	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	
	1992	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P, Sal.	COD, DO, pH, Temp.	TSS, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	
	1993	COD, pH, Sal., NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	DO, Temp., PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	TSS, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	
	1994	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, pH, TSS, Sal.	DO, Temp., NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	COD, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	

향을 받고 있음을 나타내었다.

요인 2는 자연적 요인에 기인되는 인자로서 계절적 변동을 하는 온도와 밀접한 관련이 있는 수온 및 용존산소의 변화와 관계를 나타내고 있으며, 하천을 통한 유기물 오염부하 및 현탁물질의 저층에서의 재부유에 의한 영향과 관련이 있다. 이는 하천에서의 자정능력에 의한 유기물 분해가 활발하게 일어나고 있으며, 금강을 통한 담수유입에 따른 현탁물질의 재부유의 영향이 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다. 또한 Lee & Kim(1987)이 금강하구의 탁도증가는 담수유입과 강한 조류의 상호작용을 통한 침식과 재부유의 결과로 나타난다는 것을 잘 설명하고 있다(Fig. 2, 4). 따라서 금강하구는 금강과 경포천을 통한 유기물의 유입이 외해로 확산되는 과정에서 물리적 혼합과정 및 미생물에 의한 분해활동이 활발하게 일어나고 있음을 알 수 있다.

요인 3은 하구로 유입된 오염물질의 물질변환과정을 설명할 수 있는 인자로서 Fig. 3과 4에서 나타내듯이 질산화과정에서 나타나는 수질항목인 아질산질소와 무기물질의 침강이나 흡착에 큰 영향을 받는 인산염이 밀접한 상관성이 있는 것으로 평가되었다.

따라서 하천을 통하여 하구로 유입된 오염물질이 외해로 확산되면서 자연적 자정능력에 의하여 물리적확산과 회석, 화학적 산화 및 미생물에 의한 분해가 활발하게 이루어지고 있음을 판단할 수 있다.

### 3.2.1 지점별 주성분분석 결과

지점간의 수질특성을 살펴보기 위하여 주성분분석 결과 얻어진 요인특점을 각 조사지점별 전체 평균하여 산포도를 작성한 결과가 Fig. 5~7에 나타내었다.

인위적인 오염원에 의한 영향으로 평가되는 요인 1을 기준으로 보면, 지점 1이 인위적 오염의 영향을 가장 크게 받는 것으로 나타났으며 외해지점으로 갈수록 그 영향이 감소하여 지점 8에서는 인위적 오염의 영향이 가장 적은 것으로 평가되었다. 자연적인 요소에 의한 영향으로 평가되는 요인 2를 기준으로 보면, 지점 1~4까지는 자연적 영향이 상대적으로 크게 받으나 지점 5~8은 적은 것으로 나타났다(Fig. 5,6).

Fig.7에서는 유기물분해능과 물질변환과정을 설명하는 요인을 나타내었는데 지점 1~4는 자정능력을 나타내는 유기물분해 또는 질산화과정, 유기물의 흡,탈착이 상대적으로 활발하게 일어나는 구간이며, 외해로 갈수록 점점 둔화됨을 알 수 있다.

전체적으로 금강하구역은 자연적인 영향보다는 인위적인 영향을 크게 받고 있으며, 내부의 물질대사과정이 활발한 지역으로 평가할 수 있다.

### 3.2.2 연도별 주성분분석 결과

연도별 수질변화특성을 살펴보기 위하여 주성분분석

결과 얻어진 요인특성을 연도별로 산술평균한 것을 산포도를 작성하여 Fig. 8~10에 나타내었다.

1989년과 1990년도에는 인위적 오염부하가 적었고, 오염물질의 자정능력이나 내부에서의 물질대사가 비교적 덜 활발한 것으로 나타났으나, 1991년 이후 1993년까지 유기물질의 자정능력이나 내부 물질대사가 활발하게 일어나는 것으로 평가되었다(Fig.9,10). 그러나 1994년도에는 외부의 인위적인 오염부하가 가장 크게 나타난 반면, 내부에서의 물질대사에 의한 변화가 적은 것으로 나타났다.

이는 금강하구에 위치한 군산축후소의 기상자료(기상년보,1989~1994)에 의하면 본 조사기간동안의 연평균 강수량이 1989년 1280mm, 1990년 1264mm, 1991년 1108mm, 1992년 1081mm, 1993년 1327mm, 1994년 911mm로서 1994년이 가장 가뭄이 심한 시기로 유입 오염물질의 농도가 상대적으로 증가한 반면, 담수유입량의 감소 및 금강하구둑 수문의 가동으로 인한 담수유출의 감소로 인하여 내부 물질대사가 작아진 것으로 판단된다(Fig.8,9).

전체적으로는 인위적 오염부하량이 증가하는 추세에 있는데, 이는 건설교통부에서 발표된 보고서(1996)에서 금강유역의 연도별 폐수발생량이 1989년 151.6천m<sup>3</sup>/d에서 1994년에 269천m<sup>3</sup>/d로 매년 증가하고 있다는 내용을 잘 설명하고 있다.

### 3.3 오염물질 부하특성 및 관리방안

금강하구역의 종합적인 수질평가 및 오염물질 부하양상을 평가하기 위하여 지점별, 계절별, 연도별 주성분분석에 의한 요인을 추출한 결과는 Table 5와 같다.

요인 1은 부영양화 관련인자중 질소형태와 밀접한 관련이 있었고, 담수유입에 의한 해수와의 물리적혼합에 영향을 받는 수질인자인 pH와 염분과도 관련성이 높은 것으로 보아 금강의 영향이 중요한 수질요인으로 나타났으며, 이들은 크게 인위적영향으로 분류할 수 있다.

요인 2와 3은 유기물질 및 현탁물질의 척도로 이용되는 COD와 TSS와 관련성이 있어 하구로 유입된 유기물의 분해,침강 및 재부유에 의한 변화가 중요한 요인이 되며, 계절적 변동에 의해 변화하는 DO, 온도와 큰 상관성을 보였다. 따라서 이들 요인은 크게 자연적요인으로 평가하였다.

따라서 군산하구의 수질인자에 영향을 미치는 주성분은 1차적으로 금강 및 경포천을 통해서 유입되는 담수유입에 기인한 영양염류의 유입이며, 2차적으로 내부에서의 유기물 자정능력 및 계절적변동으로 구분할 수 있다. 하구의 수질관리를 위해서는 하천을 통해 유입되는 영양염류의 적절한 통제가 필요하다.

## 4. 결 론

군산하구의 수질특성 평가를 위하여 주성분분석을 실시한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) 군산하구의 수질특성은 금강 및 경포천의 영향을 받는 지점 1이 오염이 가장 심하였고 외해로 갈수록 급격히 감소하는 경향을 나타내었다.

2) 하구역의 수질은 금강 및 경포천을 통한 유입부하가 38.99%, 계절적 변화 및 유기물 오염이 19.05%, 그리고 저질에서의 재부유에 의한 영향이 12.35%로서, 이들 3 요인이 전체수질특성의 70.40%를 설명할 수 있었다.

3) 지점별 특성은 지점 1이 인위적 오염부하가 가장 크게 나타났으며, 외해로 갈수록 인위적 영향이 감소하는 패턴이 뚜렷히 나타났다.

4) 연도별로는 인위적 오염부하가 1994년에 뚜렷하게 증가하였고, 유기물오염 및 저질 재부유와 내부물질대사는 매년 증가하고 있었다.

5) 금강하구의 수질관리를 위해서는 하천을 통해 유입되는 영양염류의 제어가 필요하다.

### 참 고 문 헌

- 강병서, 김계수, 1997, 통계분석을 위한 SPSSWIN easy, 法文社, 238~255.
- 건설교통부, 1996, 연안역 총합관리체계 구축을 위한 조사연구 최종보고서-서해안 실태조사와 국내의 제도분석-, 310~320.
- 국립수산진흥원, 1996, 한국연안어장환경오염조사 결과보고서, 93~102.
- 기상청, 1989~1994, 기상연보
- 大内晟, 1984, 廣島灣の赤潮豫察 システロについて, 廣水試研報, 第14號, 31~38.
- 大内晟, 1982, 廣島灣奥部における赤潮豫報研究の現状, 沿岸海洋ノト, 第20卷, 1號, 33~42.
- 大内晟, 高山晴義, 1981, 主成分分析による赤潮圖について, Bull. of the Japanese Soc. of Sci. Fish., 47(10), 1275~1279.
- 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. of the faculty of Agri. Shinshu Univ., Vol.16, 79~92.
- 村上和男, 1987, 水質自動觀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, 第26卷 第2號, 213~252.
- 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.
- 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價, 用水と廢水, 30(3), 239~245.
- 伊勝伸一, 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, 第4卷, 2號, 91~95.
- 홍순우, 하영철, 안태섭, 1986, 진해만의 수질과 생태계에 관한 요인분석에 대하여, 강원대학교 생명과학연구보, 4, 15~23
- Lee, C.T. and T.I. Kim. 1987. Formation and evolution of turbidity maximum in the keum Estuary, West coast of Korea. J. Oceanogr. Soc. Korea, 22(2), 105~118. (In Korean)
- Lee, H.J., H.J. Lee, J.S. Han and S.P. Kwon, 1991,

- Evaluation of Incheon coastal area water quality using Principal component analysis, J. KWPRK, 7(1), 9~19.
- Lee, M.K., J.H. Hwang and Y.K. Choi, 1966, Water Quality Evaluation on the Bottom Water of Masan Bay by Multivariate Analysis, J. of Korean Env. Sci. Soc., 5(1), 15~23.(in korean)
- Mini. of Environment, 1992, Standard testing method, Water part, Dongwha Tech., Seoul, 193~194.
- Strickland, J.D.H. and Parson, T.R., 1972, A practical handbook of seawater analysis, Bull. of the Fisheries research board of Canada, 167, 1~310.
- Shin, S.K., C.K. Park and K.O. Song, 1998, Evaluation of Water Quality using Principal Component Analysis in the Nakdong River Estuary, J. of Korean Env. Sci. Soc., 7(2), 17~176.(in korean)