

주성분 분석법을 이용한 낙동강 하구 해역의 수질 평가

신성교·박청길·송교욱*
부산광역시 정책개발실·부경대학교 환경공학과·부산발전연구원*
(1997년 9월 25일 접수)

Evaluation of Water Quality using Principal Component Analysis in the Nakdong River Estuary

Sung-Kyo Shin, Chung-Kil Park, and Kyo-Ook Song
Pusan Metropolitan City Policy Development Institute

*Dept. of Environmental Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

**Pusan Development Institute.

(Manuscript received 25 September 1997)

This study was conducted to evaluate water quality utilizing principal component analysis in the Nakdong River Estuary. From the results of analysis, water quality in the Nakdong River Estuary could be explained up to 65.3 percentage by three factors which were included in river loading(wastes from the Nakdong River and rainfalls ; 39.1%), sediment resuspension(13.7%) and metabolism(12.5%). In the eastern part of estuary in flowing the Nakdong River, river loading factor score(factor 1)was higher than that in western part. Sediment resuspension factor score(factor 2) was high in shallow water, while metabolism factor score(factor 3) was high in deeper water. For seasonal variations of factors score, factor 1 was highly related to rainfall season.

Key words : water quality, principal component analysis, factor score, Nakdong River Estuary

1. 서론

가덕도 남단과 다대포 남단을 잇는 낙동강 하구 해역은 낙동강으로부터 하천수 유입과 외해와의 해수교환이 잘 이루어지는 우리나라의 대표적인 하구역의 특성을 보여 왔다. 그러나 1987년 하구둑 건설 이후 낙동강을 통한 오염된 하천수의 유입이 부정기적으로 일어나고, 유입된 오염물과 외해수와의 교환에 의한 체류시간이 수역별로 다양할 뿐 아니라, 연안의 대규모 개발사업으로 인해 낙동강 하구해역의 수질은 매우 복잡한 특성을 보이고 있다(Shin et al., 1995).

그러나 하구해역의 수질은 하구둑을 통한 오염부하 인자, 해수유동에 의한 저질의 재부유, 하구해역 내에서의 물질대사 인자 등이 주요인이 되어 결정되며, 이들 인자는 지점별, 계절별 특성에 따라 다양한 기여를 보일 것이다(下原 등, 1991).

이와 같은 매우 복잡한 요소에 의해 변동하는 수질 측정치를 이용하여 수역의 수질을 지배하는 요인을 평가하는 것은 매우 힘든 작업이다. 따라서 각 측정치들간의 상호관계를 조사하고, 이들 수질변동들이 인과관계를 통해 수질변동에 미치는 주인자를 추출해 내는 다변량 분석법의 하나인 주성분분석법이 유용한 방법으로 이용

되어 왔다(Sakamoto, et al., 1988 ; Allen, 1973 ; 藤木, 1986 ; 中島, 1987 ; 鈴木, 1981). 특히 해양의 수질은 여러 복잡한 인자에 의해 결정되어, 주요 수질결정요인을 주성분 분석을 통해 평가되어 왔다. Ohta et al. (1986)은 일본의 三河灣에서 주성분분석법을 이용하여 해역의 수질 특성을 파악하고 적조발생 인자를 도출하는 연구를 하였으며, Lee et al.(1991)은 인천연안의 수질을 주성분 분석법으로 평가한 바 있다. 하천수에 의해 직접적인 영향을 받고 수질변동이 심한 하구 해역의 수질 평가를 위해서는 주성분분석을 통한 수질 결정요인을 산정하는 것이 유용한 방법으로 제기될 수 있다.

따라서 본 논문에서는 낙동강하구 해역에서 측정치간의 상호관계를 이용한 주성분분석을 통해 하구 해역의 수질을 결정하는 주요인을 도출하고 시·공간적 특성에 따른 수질을 결정하는 주요인에 대한 조사를 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 수질조사

Fig. 1과 같이 낙동강에 직접적인 영향을 받는 동편 해역 2, 4 및 5정점과 낙동강 수질에 간접적으로 영향을 받는 정점 1, 3, 7 및 8정점, 그리고 상대적으로 외해

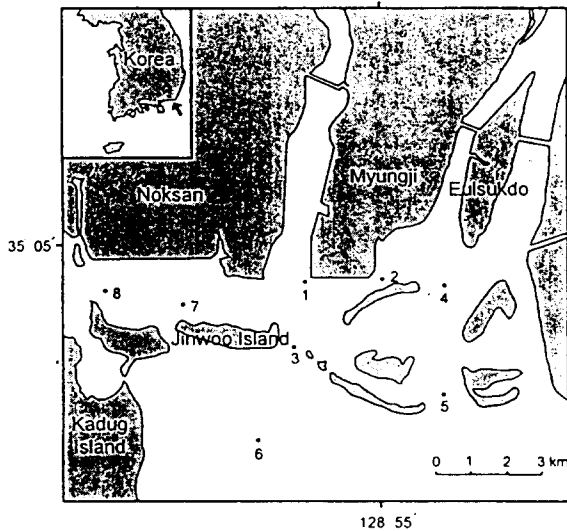


Fig. 1. Location of sampling stations in the Nakdong River Estuary.

역인 정점 6을 포함한 8개 관측지점을 선정하여, 1994년 12월부터 1995년 12까지 월 2회씩 총 24회에 걸쳐 표층수를 채수하여 수질분석을 행하였다. 수질분석중 COD는 공정시험법(1992), 염분은 Salinometer (Tsurumi사, Model E-1), Chlorophyll-a는 Strickland & Parson의 분석법(1972), 그리고 영양염류는 Standard method, APHA(1985)에 따라 정량하였다.

2. 주성분 분석

2.1 최초요인의 추출

분석해야 할 수질변수들의 관계가 단순하지 않고 서로 복잡하게 연결되어 있을 때, 이러한 복잡한 선형관계를 몇 개의 유형으로 분류하고 이 분류된 유형들이 각각의 요인이 되어, 전체로서는 복잡하게 보이는 수질변수들 간의 관계를 보다 간결하고 명확하게 하는 요인을 추출해 낸다. 각 변수들간의 상관행렬을 이용할 때 주대각선상의 값을 변형시키지 않고 그대로 공통 분산치 1.0의 값을 추정치로하여 요인 행렬을 추출하는 주대각성분 요인추출법을 이용하였다. 그리고 추출된 요인은 고유치가 적어도 1.0이상이 되어야 한다는 기준 하에서 이루어졌다(李, 1993).

2.2 요인의 회전

확정된 수만큼의 요인을 추출한 다음 각각의 변수가 한요인에는 높은 요인부하량을 가지고 다른 요인에는 낮은 부하량을 갖게 하는 요인의 회전을 통해, 어떤 수질변수가 어떤 요인과 밀접한 관계가 있는지를 쉽게 판단할 수 있게 한다. 이때 각각의 요인은 서로 독립성을 유지하도록 하는 Varimax회전방법으로 직각회전하였다.

2.3 요인 득점

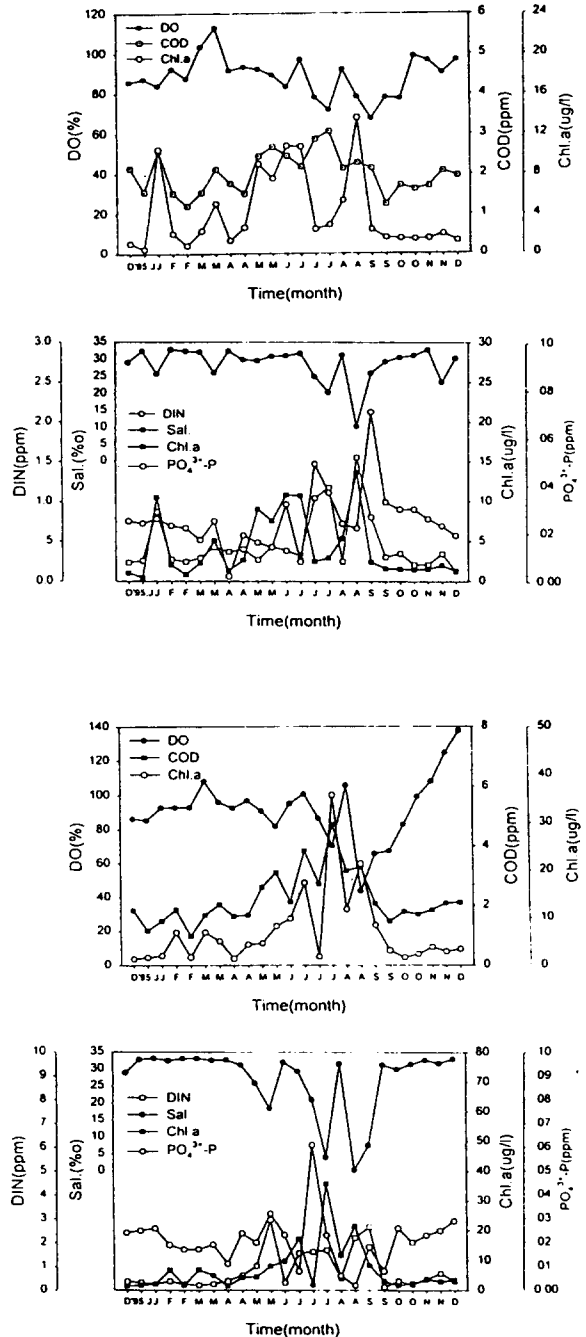


Fig. 2. Seasonal variation of water quality at st. 3 and st. 5 in the Nakdong River Estuary.

추출된 요인은 각 조사지점별 및 계절별로 수질변수의 응답결과 요인들의 선형조합으로 표현된 다음 식의 요인득점을 계산한다.

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

여기서, F_{ik} 는 k지점별 혹은 월별 수질변수 i에 의한

주성분 분석법을 이용한 낙동강 하구 해역의 수질 평가

Table 1. Range and mean values of water quality in the Nakdong River Estuary

St. No.		1	2	3	4	5	6	7	8
Temp(°C)	Mean	14.0	13.9	14.2	15.0	15.3	14.9	14.5	15.0
	Range	4.5~25.4	1.8~26.0	3.5~24.9	4.6~27.0	6.5~26.4	7.3~24.9	5.5~25.3	5.5~25.5
pH	Mean	8.03	8.05	8.10	8.08	8.11	8.20	8.08	8.14
	Range	7.72~8.37	7.81~8.38	7.91~8.41	7.58~8.41	7.52~8.38	7.95~8.54	7.88~8.40	7.88~8.70
Salinity(‰)	Mean	27.59	21.42	28.67	20.11	25.79	30.48	30.74	30.74
	Range	11.86~32.68	2.60~32.44	10.42~32.92	1.25~32.35	0.24~32.77	11.77~33.73	14.70~33.79	12.46~33.62
Trans.(m)	Mean	0.6	0.5	1.2	1.1	1.7	2.0	0.9	1.0
	Range	0.4~0.9	0.4~0.7	0.4~2.2	0.2~2.1	0.2~4.1	0.6~4.5	0.5~1.8	0.5~1.8
TSS(mg/ℓ)	Mean	17.77	17.28	12.90	12.34	11.05	9.27	14.61	13.80
	Range	8.94~50.21	6.43~37.43	7.34~26.97	4.17~39.75	3.10~47.20	2.25~32.02	6.93~29.08	4.48~31.22
VSS(mg/ℓ)	Mean	2.73	3.18	2.72	2.92	2.40	2.50	2.24	2.26
	Range	0.22~4.88	1.19~6.41	0.56~5.01	1.09~7.25	0.49~6.40	0.66~6.71	0.63~3.95	0.32~4.85
DO(mg/ℓ)	Mean	7.2	7.7	7.7	8.1	7.6	8.1	7.2	7.3
	Range	2.3~9.8	3.4~11.4	5.3~9.7	3.9~11.8	3.5~9.9	5.7~10.4	3.6~9.5	3.5~10.1
COD(mg/ℓ)	Mean	2.16	2.62	2.02	2.84	2.21	2.24	2.17	2.19
	Range	1.00~3.40	0.85~4.11	1.20~3.07	1.47~4.98	0.97~4.72	0.94~3.84	0.82~3.14	0.81~3.54
NH ₄ ⁺ -N(mg/ℓ)	Mean	0.306	0.494	0.199	0.840	0.361	0.139	0.148	0.122
	Range	0.043~1.120	0.414~1.623	0.041~0.565	0.188~2.608	0.035~1.937	0.004~0.500	0.037~0.525	0.028~0.463
NO ₂ -N(mg/ℓ)	Mean	0.021	0.040	0.015	0.043	0.023	0.012	0.013	0.013
	Range	0.001~0.107	0.001~0.126	0.001~0.084	0.001~0.131	ND~0.123	ND~0.085	ND~0.077	ND~0.090
NO ₃ -N(mg/ℓ)	Mean	0.303	0.904	0.248	1.013	0.443	0.224	0.209	0.205
	Range	0.082~1.021	0.130~2.512	0.049~1.051	0.260~2.562	0.085~2.479	0.023~1.021	0.049~0.750	0.037~1.062
PO ₄ ³⁻ -P(mg/ℓ)	Mean	0.041	0.030	0.026	0.026	0.021	0.016	0.025	0.020
	Range	0.005~0.099	0.010~0.080	0.002~0.071	ND~0.078	0.002~0.061	0.002~0.038	0.008~0.053	0.003~0.045
Chl-a(μg/ℓ)	Mean	3.60	8.10	8.30	10.57	6.95	10.82	2.62	3.86
	Range	0.67~25.67	1.21~26.64	0.45~13.62	2.57~25.78	1.31~35.74	1.08~97.34	0.45~7.97	0.53~12.81

Table 2. Eigen value and cumulative percentage of factors

Factor	Eigen value	Percentage of variance	Cumulative Percentage
1	5.081	39.1	39.1
2	1.775	13.7	52.7
3	1.629	12.5	65.3
4	0.935	7.2	72.5
5	0.800	6.2	78.6
6	0.675	5.2	83.8
7	0.590	4.5	88.3
8	0.479	3.7	92.0
9	0.387	3.0	95.0
10	0.233	1.8	96.8
11	0.198	1.5	98.3
12	0.137	1.1	99.4
13	0.081	0.6	100.0

Table 3. Rotated factor matrix extracted from principal components analysis

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Temp.	0.556	0.328	-0.257
pH	-0.241	-0.192	0.675
salinity	-0.839	-0.159	0.315
Trans.	-0.132	-0.652	0.296
TSS	-0.012	0.862	-0.188
VSS	0.309	0.833	0.206
DO	-0.162	-0.346	0.688
COD	0.759	0.401	0.026
NH ₄ ⁺ -N	0.735	-0.034	0.047
NO ₂ -N	0.787	0.121	-0.440
NO ₃ -N	0.791	0.046	-0.251
PO ₄ ³⁻ -P	0.119	-0.505	-0.595
Chl-a	0.519	0.373	0.517

요인특성, p는 수질변수의 수, Z_{ik}는 표준화된 변수의 인자부하량 그리고 W_μ는 각 변수에 주어지는 가중치를 말한다. 이때 사용되는 가중치는 회귀법을 통하여 변수별로 서로 다른 가중치를 산출 적용하는 방법을 이용하였다.

주성분분석을 위한 모든 통계처리는 SPSS for window release 5.02를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 해역의 수질특성

낙동강 하구 해역의 수질 조사결과는 Table 1에 나타나 있고 특히 동서해역의 대표점으로 한 정점 3과 5의 수질변동 특성이 Fig. 2에 나타나 있다. 조사지점 서편 해역에 위치해 낙동강의 수질에 간접적인 영향을 받는 정점 3에서 용존산소 포화도는 67.7~112.9%로 비교

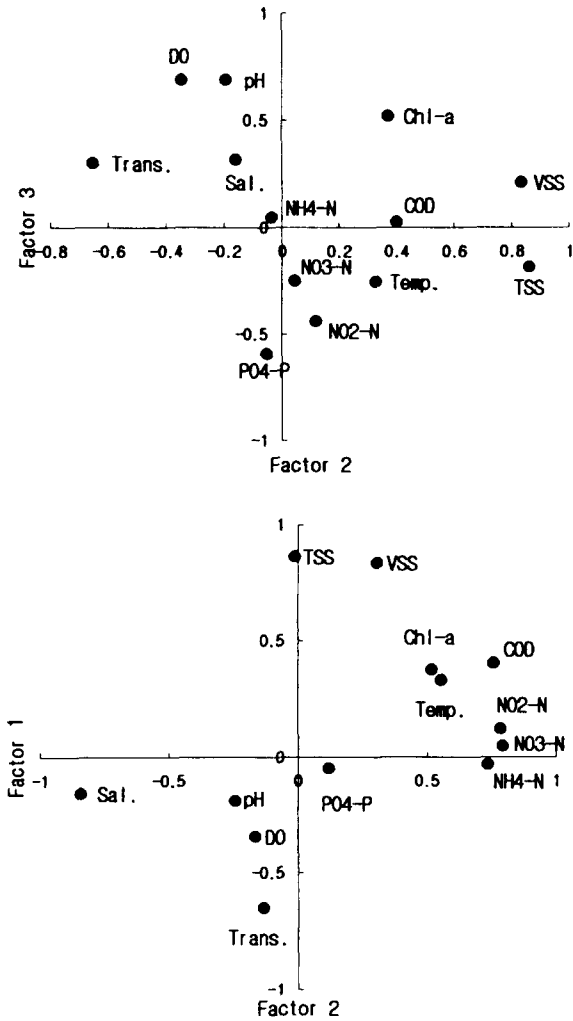


Fig. 3. Factor Loading after varimax rotation for variables.

적 일정한데 비해 정점 5에서는 43.6~137.6%로 동편 정점은 낙동강 하천수의 부정기적인 유입에 의해 수질 변동에 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 용존산소 포화율 결정의 큰 인자인 COD와 Chl-a와의 변동 경향을 보면, COD와는 역의 상관관을 보이고 Chl-a와는 정의 상관관을 보이는 전형적인 수질 변동 특성을 보이고 있다.

특히 낙동강을 통해 유입하는 과량의 영양염을 이용한 식물플랑크톤 생산의 결과인 해역의 부영양화에 대한 영향을 살펴보기 위해 정점 3과 5에서 염분, 인산인, Chl-a 및 DIN의 농도변동을 Fig. 2에 나타내었다. 두 정점 모두에서 담수유입의 증가에 따라 영양염 농도의 증가가 있고, 이에 따른 Chl-a의 농도 증가 경향이 뚜렷이 보였다. 그러나 정점 3에서 염분농도와 Chl-a농도는 각각 10.42~32.92%과 1.29~13.62 $\mu\text{g}/\text{l}$ 의 변동을 보인 데 비해, 정점 5에서는 염분농도와 Chl-a농도가 각각 0.24~33.15%과 1.63~35.24 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 큰 변동폭을

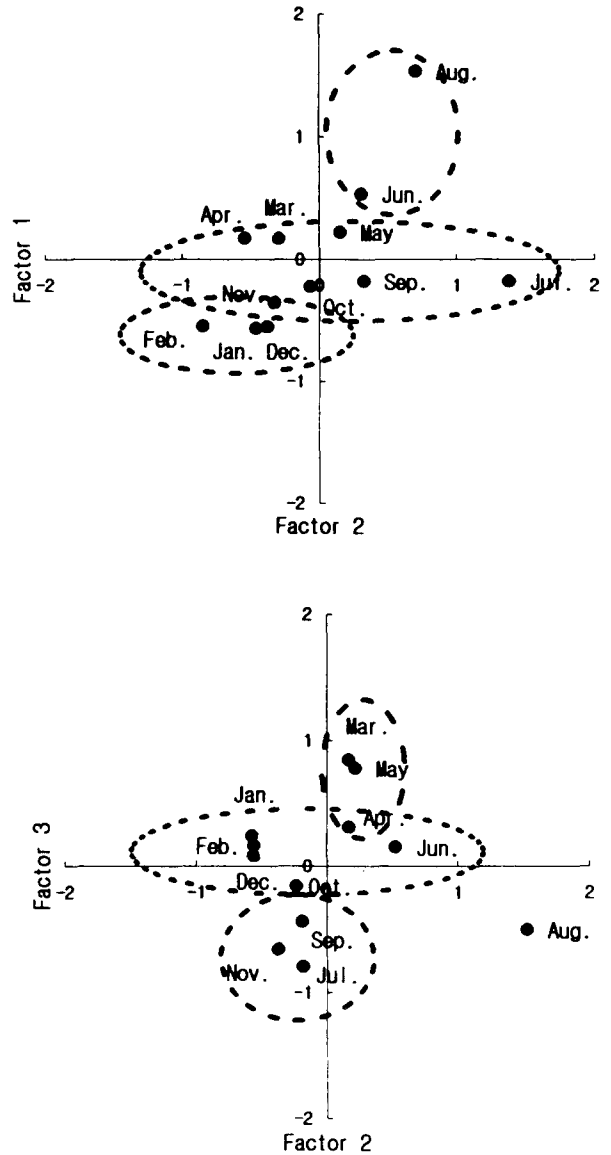


Fig. 4. Factor score for spatial variation in the Nakdong River Estuary.

보여 하천수 영향을 보다 직접적으로 받는 것으로 나타났다. 특히 9월에 외해역으로부터 발생한 적조의 영향으로 조사지점 중 가장 외해에 속하는 정점 6에서 Chl-a농도가 97.34 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 가장 높은 값을 보였다.

3.2 주성분 분석

낙동강 하구 해역에서 조사된 총 13개 수질항목을 이용한 주성분분석을 행하여 추출된 13개 요인의 고유치와 수질에 미치는 기여율이 Table 2에 나타나 있다.

13개의 요인중 주대각성분추출법에 의해 고유치 1.0이상으로 3개의 요인을 추출한 결과 전체의 수질을 65.3%까지 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 이들 3요

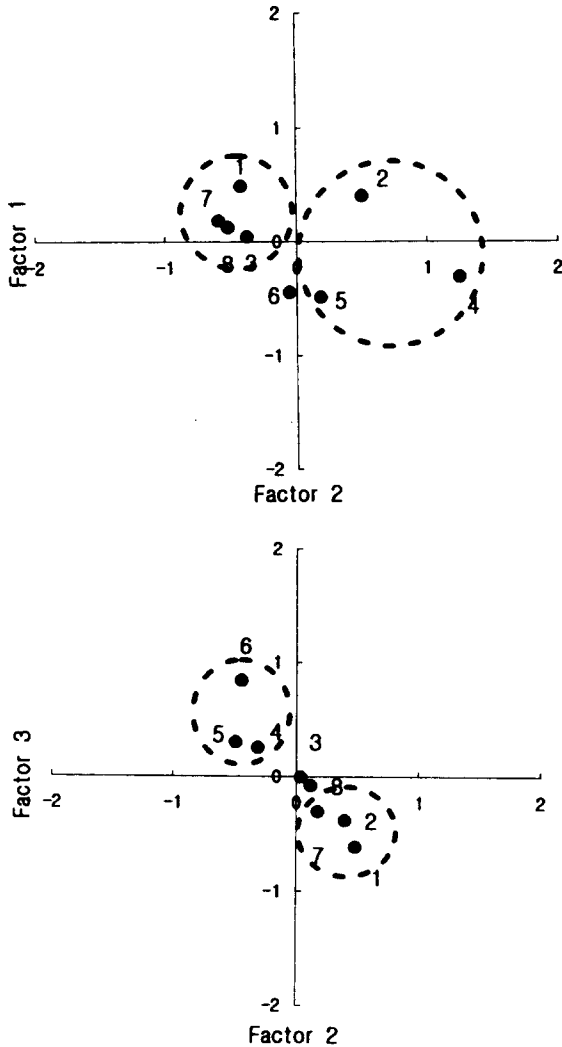


Fig. 5. Factor score for temporal variation in the Nakdong River Estuary.

인과 수질변수와의 관계를 보다 정확히 설명하기 위해 varimax 법에 의해 회전시켜 나타난 결과가 Table 3과 Fig. 3에 나타나 있다.

요인 1은 COD, NH_4^+-N , $NO_2^- -N$, $NO_3^- -N$ 및 Chl-a와 높은 정의 인자부하량을 보이고 있고, 염분과는 0.839로 가장 높은 부의 인자부하량을 보여, 하천수유입에 의해 염분의 감소 및 COD와 영양염의 주공급원이 되고 있음을 나타낸다. 요인 2는 해수내에 탁도와 관련이 있는 투명도, TSS와 VSS가 높은 인자부하량을 보이는 것으로 나타났다. 요인 3은 pH, DO 및 Chl-a와 높은 인자부하량을 보이고 있고 인산인과 -0.595의 부의 인자부하량을 보여, 요인 3은 물질대사 인자에 의해 결정되는 요인으로 설명될 수 있고 조사수역은 미생물에 의한 분해보다는, 식물플랑크톤의 생산이 보다 크게 작용하는 해역임을 알 수 있다.

3.2.1 지역별 주성분분석 결과

각 조사 지역별로 연평균한 요인득점을 계산한 결과가 Fig. 4에 나타나 있다. 하천에 의한 오염부하를 나타내는 요인 1은 동편 해역인 정점 2, 4, 5에서 0.507, 1.252, 0.188을 나타내어 낙동강에 의한 하천수의 영향이 크게 나타남을 보였다. 해수의 현탁성분과 관계되는 요인 2는 정점 1, 2, 7, 8에서 각각 0.488, 0.404, 0.184, 0.124로 크게 나타났다. 이는 이 지역이 만조시 수심 1.5m 이심지역으로 조류에 의해 저층의 침전물이 쉽게 재부유함으로 인한 결과로 사료된다. 따라서 조사대상 해역의 현탁성분은 수심과 매우 밀접한 관계를 가져 조석과 파랑에 의한 해수유동시 재부유에 의해 크게 영향을 미침을 알 수 있다. 물질 대사에 의한 요인 3은 정점 4, 5, 6에서 높은 양의 득점을 보여 식물플랑크톤 생산이 수질결정에 주요인인 것으로 나타났다. 이는 Shin et al.,(1995)이 이 정점에서 식물플랑크톤 생산에 의한 자생 COD율이 가장 높았다는 연구 결과와도 일치한다. 그리고 이의 정점에서는 음의 득점을 보여 미생물에 의한 분해가 주요인으로 고려될 수 있다.

3.2.2 계절별 주성분분석 결과

각 조사 지역별로 평균한 월별 요인득점 결과가 Fig. 5에 나타나 있다. 요인 1의 변동이 크게 일어남을 보이고 있는데 이는 강수량 변동에 따른 하천의 유량변동과 관련이 있고, 특히 우기에 해당하는 7월에는 가장 높은 득점을 보였다. 또한 우기시 하천을 통한 파랑의 현탁물질 수송에 의해 요인 1과 요인 2가 복합적으로 작용하는 5, 6 및 8에 높은 득점을 보이는 것으로 나타났다. 요인 2와 요인 3의 관계에서는 3, 4 및 5월에는 식물플랑크톤의 생산에 의한 영향이 7, 9, 11월에는 분해에 의한 영향이 크게 관여하는 것으로 나타났다. 이외 계절에는 물질대사 인자에 의한 영향이 크게 나타나지 않는 것으로 나타났다.

4. 결 론

낙동강 하구해역의 수질 특성을 평가하기 위하여 주성분분석을 이용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 하구해역의 수질은 낙동강 하천수 유입부하 요인이 39.1%, 해수유동에 의한 저질 재부유에 의한 오염이 13.7% 그리고 해역내에서 물질대사에 의한 요인이 12.5%를 차지하여, 이들 3요인으로 전체 수질 특성의 65.3%를 설명할 수 있었다.

2) 지역별로는 동편 해역에서 요인 1의 득점이 크게 나타나 낙동강 수계에 크게 영향을 받는 수역으로 나타났으며, 요인 2의 득점이 높은 연안측에서 유속에 의한 저질재부유에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다. 비교적 수심이 깊은 외해측은 요인3인 물질대사에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다.

3) 계절적으로는 강수량의 변동에 의한 요인 1의 변동이 수질에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 李永俊, 1993, SPSS/PC+를 이용한 다변량분석, 도서출판 석정, 서울, 35~125.
- APHA · AWWA · WPCF, 1985, Standard method 16th Ed., Port City Press, Baltimore, Maryland, 373~452.
- 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. KWPRC, 7(1), 9~19.
- Ministry of Environment, 1992, Standard testing method, Water Part, Donghwa Tech., Seoul, 193~194.
- Ohta, R., K. Shima and T. Takayanagi, 1986, Water quality analysis of the Mikawa Bay by principal component analysis, Water and Waste, 28(11), 1118~1121.
- Sakamoto, H., R. Hamaguchi and M. Iwase, 1988, Evaluation of the river water pollution in the Chanai District of Eastern Hokkaido by the multivariate analysis method, Water and Waste, 30(3), 239~245.
- Shin, S. K., C. K. Park and K. O. Song, 1995, Evaluation of autochthonous COD in the Nakdong Estuary, J. Korean Fish. Soc. 28(3), 263~269.
- Strickland, J. D. H. and Parson, T. R., 1972, A practical handbook of seawater analysis, Bulletin of the Fisheries research board of Canada, 167, 1~310.
- 下原 健一, 重住 研一, 小川 裕信, 橋本 昭雄, 1991, 主成分分析法を用いた遠賀川の水質の統計的解析, 用水と廢水, 33(9), 737~742.