

다변량 해석기법을 이용한 인천연안해역의 수질평가

김 종 구

군산대학교 토목환경공학부

(2006년 3월 3일 접수; 2006년 11월 7일 채택)

The Evaluation of Water Quality in Coastal Sea of Incheon Using a Multivariate Analysis

Jong-Gu Kim

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

(Manuscript received 3 March, 2006; accepted 7 November, 2006)

This study was conducted to evaluate characteristic of water quality in coastal sea of Incheon using a multivariate analysis. The analysis data in coastal sea of Incheon was aquired by the NFRDI data which was surveyed from March 1997 to November 2003. Eleven water quality parameters were determined on each survey. The results were summarized as follow ; Water quality in Incheon coastal sea could be explained up to 64.62% by three factors which were included in loading of fresh water and nutrients by the land(36.98%), seasonal variation(16.19%), and internal metabolism (11.24%). The results of time series analysis by factor score, in case of factor 1, station 1 influenced by Han river was shown to high factor score and station 3 located by outer sea was shown to low factor score. In case of factor 2, station 1 was appeared to high variation and station 3 was appeared to low variation. The result of cluster analysis by station was classified into three group that has different water quality characteristics. Especially, station 1 which affected by Han river and station 4 which affected by sewage treatment plant was appeared to considerable water quality characteristics against other station. In yearly cluster analysis, three group was classified and water quality in 2003 years due to high precipitation was different to another year. It could be suggested from these results that it is important to control discharge of fresh water by Han river and sewage treatment plant for water quality management of coastal sea of Incheon.

Key Words : Incheon coastal sea, Multivariate analysis, PCA, Time series analysis, Cluster analysis, Factor loading, Factor score

1. 서 론

인천연안은 전형적인 해안 평원 하구역으로 크고 작은 150여개의 많은 섬들이 산재해 있다. 이 섬들 주위에는 큰 조석간만의 변화와 간석지의 발달로 수괴의 유통이 원활하고 먹이가 풍부하여 다양한 해양생물들의 서식처로서 천혜의 조건을 갖추고 있었다. 그러나 1970년대 이후 수도권에 인구증가와 경인 지역의 공업화로 인하여 인천연안으로 유입되는 대소 하천이 극도로 오염되기 시작하여 최근에

는 인천연안의 수질 오염이 심각한 상황에 이르고, 여기에 서식하는 각종 동·식물이 급격하게 감소되어 해양생태계의 이상 현상이 나타나고 있다. 더구나 최근에는 인천연안에는 영종도 신공항 건설, 송도 신도시의 건설에 따른 매립공사, 시화호 수문개방에 따른 오염물질 배출 등 환경적 변화가 급격하게 일어나고 있고, 이에 따라 조류의 흐름이 변하고 수괴의 유통이 원활치 못하여 해양 환경이 더욱 악화되고 있는 실정으로 연안해역 관리의 중요성이 대두되고 있는 실정이다.

해양수질은 육상으로부터의 오염부하, 해양의 물리적 특성, 퇴적물의 오염상태, 내부 물질 대사의 정도, 기후의 변동 등이 상호 작용하여 나타나기 때문

Corresponding Author : Jong-Gu Kim, School of Civil & Environmental Engineering, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea
Phone: +82-63-469-1874
E-mail: kjg466@kunsan.ac.kr

에 수질의 정확한 변동 특성 및 평가를 내리는데 어려움이 있으며, 수질항목들은 지점별, 연도별 등에 의해 변동하는 특성을 가진다. 따라서 환경관리를 위해서는 장기적이고 체계적인 조사가 필요하며 아울러 체계적인 관리가 중요하다고 할 수 있다.

요인분석(Factor Analysis)은 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 통계분석기법의 수질평가에 적용한 예를 보면, 일본에서는 하천 수질오탁 평가에 이용¹⁾한 이후 해양에 적용되어 해양특성 및 수질평가, 해황해석, 적조도 조사, 적조예측 등의 많은 분야에 이용되어져 왔다²⁻⁸⁾. 국내에서의 연구는 요인분석을 통한 진해만의 수질 및 생태계 변화요인 평가⁹⁾, 주성분분석법을 통한 인천연안의 수질평가¹⁰⁾, 다변량해석을 통한 마산만 저층수의 수질평가¹¹⁾와 주성분분석법에 의한 낙동강 하구해역의 수질평가¹²⁾, 금강하구역의 수질평가¹³⁾ 및 다변량해석에 의한 낙동강 하구해역의 평가¹⁴⁾ 등이 보고되어 있고, 미국에서 플로리다만의 수질특성 평가를 위하여 다변량해석을 적용¹⁵⁾한 연구 등 많은 연구가 수행되었다.

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

기존 본 해역을 대상으로 주성분분석기법을 이용하여 해역을 평가한 연구가 1991년도에 수행되었으나, 이는 시화호 및 영종도 그리고 인천의 현재와 같은 연안개발 이전에 이루어진 연구로써, 해양환경 조건이 많이 변화된 인천연안에 대한 해양환경 평가를 위한 연구의 필요성이 제기되며, 이러한 연안 환경의 환경적 변화와 수질특성의 변화를 평가할 필요가 있다.

따라서 본 연구의 목적은 인천연안에 대한 수질 측정망의 수질관측 자료를 바탕으로 수질의 변동특성을 조사하고, 종합적인 수질평가를 위하여 다변량 해석기법 중 요인분석 및 군집분석을 적용하여 인천연안의 수질결정인자를 도출하고 시·공간적인 특성에 따른 수질을 결정하는 주요인물 조사하여 연안환경변화 요인과의 관계를 분석하고, 장래 해양 수질관리를 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대상구역 및 자료도출

본 연구에서 사용한 자료는 인천연안 측정망 수질자료¹⁶⁾로 총 10개 정점에서 1997년 2월부터 2003

년 11월까지 계절별로 관측한 표층수의 자료를 이용하였다. 이들 자료 중에서 연도별, 지점별로 측정된 자료수가 일치하는 항목에 대해서만 통계분석을 실시하였다.

측정망 관측지점은 총 10개 정점으로 한강의 영향을 받는 1, 2, 3지점과, 인천항과 시화호 건설의 영향을 받는 4, 5, 6, 7지점과 나머지 지점으로 이루어진다.(Fig. 1)

측정항목은 수온, 염분, pH, 용존산소(DO), 화학적 산소요구량(COD), 암모니아질소(NH₄⁺-N), 아질산질소(NO₂⁻-N), 질산질소(NO₃⁻-N), 용존무기질소(DIN), 용존무기인(DIP), 부유물질(SS) 로서 총 11개 항목이 조사되었다.

2.2. 주성분분석(principal component analysis, PCA)

최초 분석된 자료를 근간으로 전체변수 중 보다 간결하고 명료한 관계를 가지는 요인을 추출하기 위하여 각 변수간 상관행렬을 이용해서 주 대각선상의 값을 변형시키지 않는 그대로 공통 분산치 1.0의 값을 추정값으로 하여 요인행렬을 추출하는 주 대각성분 요인 추출법을 이용하였다. 최초요인을 추출한 뒤 회전시키지 않는 요인행렬로부터 몇 개의 요인을 추출하기 위하여 고유치가 최소 1.0이상이어야한다는 기준으로부터 요인을 추출하였다.

요인이 해당되는 변수를 설명해주는 의미를 가진 요인부하량을 산출한다. 그리고 여러 요인이 비슷한 요인부하량을 나타낼 경우 변수들이 어떤 요인에

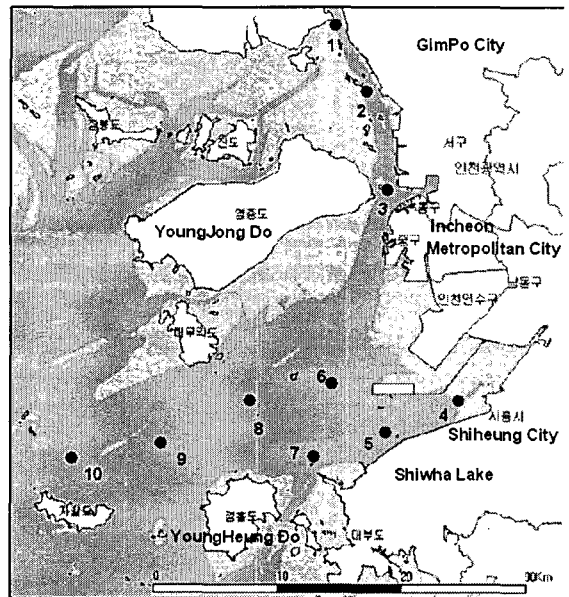


Fig. 1. Map of sampling station in coastal sea of Incheon.

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 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.

2.3. 군집분석(Cluster analysis)

군집분석은 n개의 객체들을 p개의 변수 각각에 대해 얻은 관찰크기가 자료행렬(n×p)로 주어졌을 때 각 객체의 관찰값에 대응되는 한 행벡터(row vector)는 p 차원 공간에서 한 개의 점으로 생각할 수 있다. 이 때 p 차원 공간에 n개의 점들이 전체공간에 랜덤하게 흐트러져 있는지 혹은 조밀성을 이루고 있는지에 관한 정보를 가진다. 이는 다변량 자료에 대한 구조적 단순화라는 측면에서 중요한 의미를 가진다.

군집분석은 특성들의 유사성 즉, 특성자료가 얼마나 비슷한 값을 가지고 있는지를 거리로 환산하여 거리가 가까운 대상들을 동일집단으로 구분하여 전체 다변량자료의 구조를 파악하고, 군집의 형성과정과 그 특성, 군집간의 관계를 분석하는 것이 목적이다.

군집분석은 단지 측정치의 차이를 이용하기 때문에 변수선정, 유사성 측정방법 및 군집화방법이 중요한 요소가 된다.

유사성 측정은 거리와 유사한 개념을 바탕으로 설명되는 근접성의 척도이다. 거리측정은 모든 변수의 차이를 제곱하여 합산해서 결정하는 유클리디안 제곱거리(Squared Euclidean distance) 방법을 적용하였다.

$$d_{ij} = [(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2]^{1/2}$$

d_{ij} : 점 i와 점 j간의 거리
 X_i, Y_i : i 번째 점의 좌표
 X_j, Y_j : j 번째 점의 좌표

군집결합의 방법은 집단간의 평균결합을 나타내는 Between-groups linkage를 사용하였다. 이는 객체의 모든 쌍들 간 평균거리를 두 집단간의 거리로 정의하는 비가중치 쌍집단방식(UPGMA : unweighted pair-group method arithmetic average)이다.

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

주성분분석과 군집분석을 위한 통계처리는 SPSS for window release 8.0을 이용하여 분석을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질특성 및 항목간의 상관분석

인천연안 수계에 대한 해양수산부 측정망 자료를 이용하여 1997년 2월부터 2003년 11월까지 계절별로 관측된 11개 수질항목에 대한 자료의 지점별 평균농도를 Table 1에 나타내었다.

인천 연안의 수질특성을 보면, 한강 및 인천시의 직접적인 영향을 받는 지점 1~6에서 낮은 염분농도를 보인 반면 외해로 갈수록 증가하는 경향을 나타내었다. 해역의 유기오염 지표가 되는 COD의 경우 한강의 영향을 받는 지점 1과 오이도 하수처리장의 영향을 받는 지점 4에서 가장 높은 평균농도를 보였다. 영양염류의 경우 한강영향을 받는 지점에서 높은 농도를 보였고, 멀어질수록 감소하는 경향을 나타내었다.

수질인자간의 관련성을 평가하기 위하여 11개 수질항목에 대한 단순상관분석을 실시한 결과를 Table 2에 나타내었다.

수온(Temp)은 DO(R=-0.683)와 부(-)의 상관성을 보면, 염분은 NO_2^- -N(R=-0.577), NO_3^- -N(R=-0.717), DIN(R=-0.715)와 부(-)의 상관성을, NH_4^+ -N는 NO_2^- -N(R=0.555), DIN(R=0.636)과 정(+)의 상관성을, NO_2^- -N는 NO_3^- -N(R=0.613), DIN(R=0.733)와 정(+)의 상관성을, NO_3^- -N는 DIN(R=0.926)과 정(+)의 상관성을 나타내었다.

3.2. 주성분분석

인천연안 수계에서 1997년부터 2003년까지 11개의 수질항목을 대상으로 조사된 자료를 이용하여 주성분분석을 행한 결과 나타난 11개 요인의 고유치와 수질에 미치는 기여율을 Table 3에 나타내었다.

추출된 11개의 최초요인 중 보다 나은 해석을 위하여 주대각성분 추출방법에 의해서 요인수를 결정하게 되는데, 이때 요인수를 결정하는 방법에는 여러가지가 있으나, 여기서는 고유치를 기준으로 결정

Table 1. Mean values of water quality constituents during 1997~2003 in Incheon coastal sea 13.87

| Item | Temp | Sal. | pH | DO | COD | NH ₄ ⁺ -N | NO ₂ ⁻ -N | NO ₃ ⁻ -N | DIN | DIP | SS |
|------|-------|-------|------|------|------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------|------|--------|
| | ℃ | ‰ | | mg/ℓ | mg/ℓ | mg/ℓ | mg/ℓ | mg/ℓ | mg/ℓ | mg/ℓ | mg/ℓ |
| 1 | 13.87 | 23.03 | 7.81 | 7.71 | 1.74 | 0.25 | 0.05 | 0.83 | 1.14 | 0.05 | 112.28 |
| 2 | 13.83 | 27.26 | 7.87 | 7.74 | 1.42 | 0.21 | 0.04 | 0.61 | 0.86 | 0.05 | 54.50 |
| 3 | 13.94 | 27.74 | 7.86 | 7.98 | 1.48 | 0.30 | 0.04 | 0.48 | 0.82 | 0.05 | 47.11 |
| 4 | 13.31 | 29.79 | 7.98 | 8.67 | 1.71 | 0.22 | 0.03 | 0.31 | 0.55 | 0.03 | 27.96 |
| 5 | 13.53 | 29.96 | 7.97 | 8.54 | 1.46 | 0.16 | 0.02 | 0.25 | 0.42 | 0.03 | 24.24 |
| 6 | 13.55 | 29.88 | 7.97 | 8.23 | 1.40 | 0.12 | 0.02 | 0.24 | 0.38 | 0.03 | 31.53 |
| 7 | 13.67 | 30.27 | 7.97 | 8.21 | 1.40 | 0.09 | 0.02 | 0.21 | 0.32 | 0.02 | 29.35 |
| 8 | 13.59 | 30.64 | 7.97 | 8.29 | 1.39 | 0.06 | 0.01 | 0.19 | 0.26 | 0.02 | 32.04 |
| 9 | 13.29 | 30.92 | 7.95 | 8.34 | 1.34 | 0.06 | 0.01 | 0.17 | 0.23 | 0.02 | 33.60 |
| 10 | 13.44 | 30.71 | 7.95 | 8.20 | 1.33 | 0.07 | 0.01 | 0.17 | 0.25 | 0.02 | 31.54 |

Table 2. Correlation matrix among 11 variables

| | Temp | 염분 | pH | DO | COD | NH ₄ ⁺ -N | NO ₂ ⁻ -N | NO ₃ ⁻ -N | DIN | DIP | SS |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|
| Temp | 1.000 | | | | | | | | | | |
| 염분 | -.435 | 1.000 | | | | | | | | | |
| pH | -.039 | .353 | 1.000 | | | | | | | | |
| DO | -.683 | .331 | .128 | 1.000 | | | | | | | |
| COD | -.156 | -.084 | .072 | .324 | 1.000 | | | | | | |
| NH ₄ ⁺ -N | .204 | -.329 | -.005 | -.220 | .085 | 1.000 | | | | | |
| NO ₂ ⁻ -N | .247 | -.577 | -.206 | -.244 | .003 | .555 | 1.000 | | | | |
| NO ₃ ⁻ -N | .137 | -.717 | -.298 | -.115 | .059 | .304 | .613 | 1.000 | | | |
| DIN | .191 | -.715 | -.247 | -.180 | .089 | .636 | .733 | .926 | 1.000 | | |
| DIP | .033 | -.408 | -.257 | -.092 | -.028 | .259 | .329 | .380 | .420 | 1.000 | |
| SS | -.195 | -.038 | -.142 | .047 | .087 | -.031 | .004 | .070 | .054 | .145 | 1.000 |

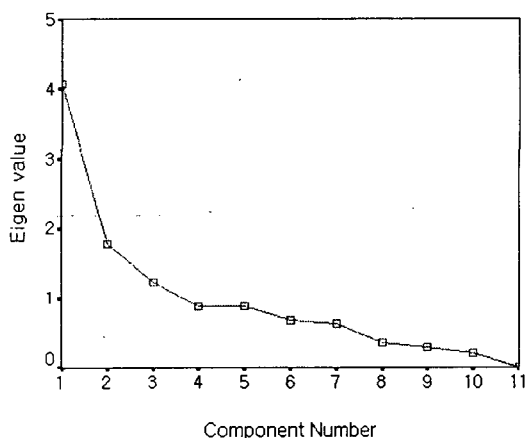


Fig. 2. Plotting of Eigenvalue extracted by PCA.

하였다.

고유치는 요인이 설명할 수 있는 변수들의 분산 크기를 나타낸다. 고유치가 1 보다 크다는 것은 하나의 요인이 변수 1개 이상의 분산을 설명해 준다는 것을 의미한다. 따라서 고유치 값이 1이상인 경우를 기준으로 해서 요인수를 결정하게 된다. 고유치가 1

보다 적다는 것은 1개의 요인이 변수 1개의 분산도 설명해 줄 수 없다는 것을 의미하므로 요인으로서 의미가 없다고 볼 수 있으므로 제외시킨다. 따라서 고유치와 스크리 도표를 통해 3개의 요인을 추출할 수 있다(Fig. 2).

요인 1은 36.98%, 요인 2는 16.20%, 요인 3은 11.24%의 기여율을 나타냈으며, 이들 요인 1부터 3까지의 누적기여율은 64.62%로써 전체 수질변동의 64%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다.

그리고 요인적재량이 어떤 요인에 높게 적재되어 있는지의 여부를 판단하기 위하여 Varimax법으로 회전시킨 요인행렬을 Table 4와 Fig. 3에 나타내었다.

주성분 분석 결과 추출된 각 요인과 수질변수와 의 관계를 보면, 요인 1은 염분과 부의 상관성을, 영양염류인 암모니아질소(NH₄⁺-N), 아질산질소(NO₂⁻-N), 질산질소(NO₃⁻-N), 용존무기질소(DIN)와 정의 인자 부하량을 갖고 있다. 요인 2는 자연적 변화성을 가진 수온(Temp)과는 부의 부하량을, 용존산소(DO)와는 정의 인자부하량을 갖고 있으며, 유기물질을 의미하는 화학적 산소요구량(COD)와는 정의 인자 부하량을 갖고 있다. 요인 3는 내부물질 변화를 나

다변량 해석기법을 이용한 인천연안해역의 수질평가

Table 3. Eigen value and cumulative percentage of factor

| 성분 | 전체 | 분산 % | 누적 % |
|----|-----------|-----------|---------|
| 1 | 4.068 | 36.983 | 36.983 |
| 2 | 1.782 | 16.199 | 53.181 |
| 3 | 1.237 | 11.241 | 64.623 |
| 4 | .880 | 7.997 | 72.420 |
| 5 | .874 | 7.946 | 80.365 |
| 6 | .686 | 6.234 | 86.599 |
| 7 | .630 | 5.729 | 92.328 |
| 8 | .349 | 3.170 | 95.498 |
| 9 | .286 | 2.598 | 98.096 |
| 10 | .208 | 1.888 | 99.984 |
| 11 | 1.714E-03 | 1.558E-02 | 100.000 |

Table 4. Rotated factor matrix extracted from principal component analysis

| 구 분 | 성분 | | |
|------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Temp | .277 | -.788 | .229 |
| 염분 | -.763 | .272 | .262 |
| pH | -.174 | .194 | .722 |
| DO | -.200 | .859 | -3.24E-02 |
| COD | .224 | .610 | .181 |
| NH4 | .713 | -2.44E-02 | -.271 |
| NO2 | .817 | -.120 | -3.80E-02 |
| NO3 | .823 | 1.020E-02 | -.301 |
| DIN | .952 | 8.702E-04 | -.145 |
| DIP | .448 | -2.24E-02 | -.470 |
| SS | -3.17E-02 | .205 | -.601 |

타내는 수소이온농도(pH)는 정의 부하량을, 부유물질(SS)는 부의 인자부하량을 갖고 있다.

요인 1과 관련성이 있는 것으로 육역에서의 오염 부하 중 담수 유입에 따른 하구역에서의 염분변화와 담수를 통한 질소부하와 밀접한 관계가 있다. Table 1을 보면 알 수 있듯이 육지에서 멀어질수록 염분이 높아짐을 알 수 있다. 그리고 영양염류와 관련이 있는 것으로 용존무기인(DIN)의 경우 가장 높은 인자부하량을 나타내었는데, DIN은 생·화학적 작용에 의하여 변하며 과다하게 존재하면 부영양해역이 되어 적조 발생의 원인으로 작용하게 된다. 그리고 염분과 강한 부(-)의 상관성($r=-0.715$)을 나타내고 있다. 즉 염분이 증가할수록 DIN의 농도가 감소함을 보여준다.

요인 2는 수온과 용존산소 그리고 COD의 변화로써, 자연적 변동요인인 수온과 그에 따른 용존산소 변화가 뚜렷하게 나타났고, 더불어 유기오염지표인 COD가 유사한 변동을 보였다. 수온과 용존산소는 역상관성을 가진 인자로 모든 해역에서 계절적으로 동일한 변동 특성을 가지는 것이 일반적이다. COD는 유기오염지표로서 외래성COD와 자생COD로 구분할 수 있는데, 외래성의 경우 하천유입이나 저층재부유에 의한 영향이며, 자생은 식물플랑크톤 증식에 의한 영향이다. 그 외의 영향으로 시화호로부터의 부하가 큰 역할을 하고 있어 시화호 갑문에서의 담수배출 또한 중요한 영향인자이다. 본 평가에서는 계절적 변동에서 수온이 감소하는 시기에 COD가 증가하는 경향을 보이는 것으로 보아 동계 표·저층의 혼합에 의한 영향이 강하나 변동요인이 복잡하여 본 자료의 변수로 정확한 판단이 어렵다.

요인 3은 pH와 부유물질(SS)로 나타났는데, 둘 다 자연적인 변동성의 다른 부분을 나타내는 인자이다. 부유물질은 서해안에서 독특한 계절적 변동을 가진 인자로서 최(1994)의 연구결과에서 서해안의 부유물질 변동은 하계에 낮고 동계에 증가하

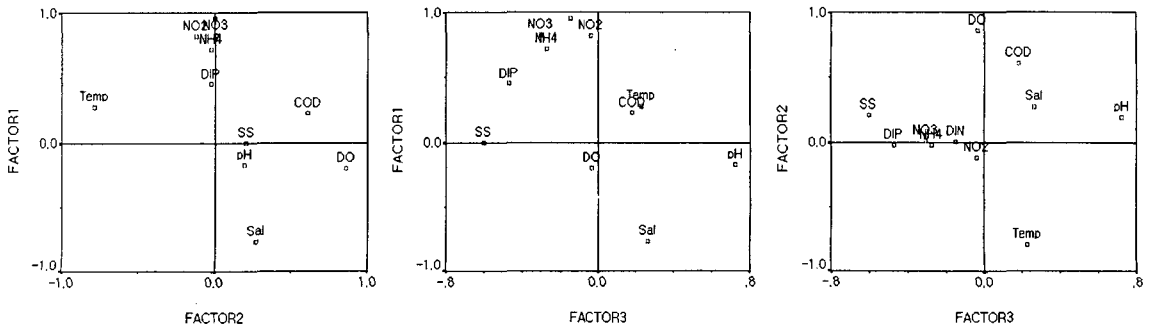


Fig. 3. Factor loading after varimax rotation for variables.

는 변동특성을 가지며, 이는 동계 북서계절풍에 의해 상하층이 혼합되면서 나타난다고 보고하고 있다. pH 변동요인은 조류증식에 따른 pH 증가와 담수유입에 따른 pH 감소가 있으나, 식물플랑크톤의 자료가 없어 pH의 증가요인은 알 수 없지만, 하계 식물플랑크톤의 증식에 의한 무기영양염류가 일시적으로 감소하는 경향을 나타내어 요인 2와 다른 계절적 요인에 의한 변동으로 평가할 수 있다.

지점별, 연도별 수질변동의 특성을 조사하기 위해서 주성분의 분석결과에서 얻어진 요인점수를 산술 평균하여 구한 값을 산점도로 작성하여 Fig. 4, Fig. 5에 나타내었다.

지점별 특성에서 육역에서의 담수부하와 질소부하에 의한 영향을 나타내는 요인 1은 지점 1, 4에서 큰 요인점수를 나타내어 영향이 큼을 알 수 있고, 지점 5, 6, 7, 8, 9, 10에서 요인점수가 낮아 담수의 영향이 적은 지점임을 알 수 있다. 계절적 변동요인을 나타내는 요인 2는 지점 1, 4에서 큰 요인점수를 나타내어 계절적 변동이 큰 것으로 나타났으며, 이들 계절적 요인 중 요인 1과 2에 공통으로 영향을 주는 변수로 계절적 강우의 특성에 크게 의존함을 추측할 수 있다. 내부물질의 특성을 나타내는 요인 3은 지점 4, 5에서 높은 요인점수를 나타내었다.

연도별 특성에서 영양염류의 부하특성을 나타내

는 요인 1은 2003년에 가장 높은 요인점수를 나타내어 육상기원의 영향을 가장 많이 받은 해로 알 수 있으며, 실제 2003년도의 강우분석 결과 다른 연도에 비하여 월등히 높은 강우가 있었음을 알 수 있다.

본 연구의 결과와 1991년에 수행한 연구결과와 비교해 보면, 요인수에서 2개가 줄었으며, 요인별 특성에서 가장 큰 요인으로 1991년 조사에서는 무기질소만의 영향으로 나타났으나, 본 연구에서는 무기질소와 염분농도와의 관련성이 보다 명확하게 나타났다. 즉, 염분은 육상에서의 담수유입에 의한 영향을 받는 인자이고 무기질소 또한 육상기원 오염물질로써 육역오염에 의한 영향이 1991년 조사보다 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

또한 수온과 용존산소 그리고 COD가 1991년 결과와 유사하게 유사한 변동을 가지는 것으로 나타났으며, 요인부하량이 1991년 보다는 높게 나타났다. 부유물질과 pH가 본 조사에서 유사한 변동 특성을 가진 것으로 나타났고, 1991년 연구에서는 인산염과 염분이 유사한 변동을 보였으나, 본 연구에서는 요인 1에서 인산염의 거동이 일부 유사하였고, 요인 3에서도 유사한 변동을 보이고 있어, 담수유입에 의한 변화와 계절적 환경변화요인이 같이 작용하고 있음을 알 수 있다.

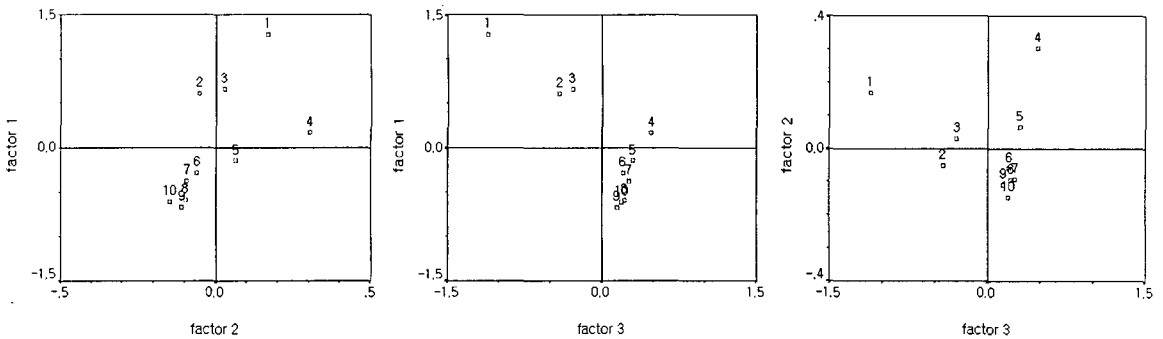


Fig. 4. Factor score for spatial variation in coastal sea of Incheon.

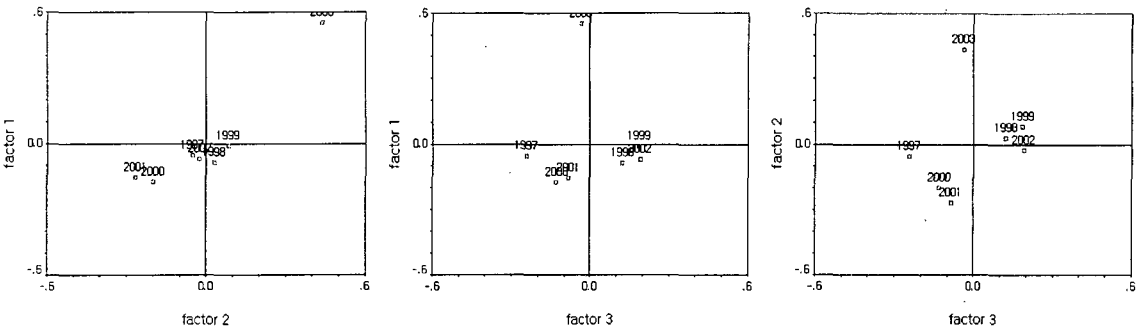


Fig. 5. Factor score for annual variation in coastal sea of Incheon.

3.3. 요인점수에 의한 시계열 분석

인천연안 수질변동의 요인특성을 살펴보기 위하여 주성분분석에서 얻어진 요인특점에 대한 시계열 변화를 분석하였다. 각각의 추출된 요인에 대하여 지점 간 특성을 고려하여 한강의 영향을 받는 지점 1과 인천 LNG기지와 시화호 사이에 위치하며 오이도 하수처리장의 영향을 받는 지점 5와 외해역에 해당되는 지점 9을 대상으로 요인특점에 대한 시계열 분석을 행하였다. 각 요인에 대한 3 지점의 시계열 변화를 Fig. 6에 나타내었다.

담수영향 및 질소부하 특성을 나타내는 요인 1에서는 지점 1의 요인점수가 가장 커서 높은 오염부하를 나타내고 있는 반면 외해역에 해당되는 지점 9의 요인점수가 가장 낮아 오염부하가 가장 적었다. 특히 1997년과 2003년의 높은 요인점수는 이 시기에 발생한 집중강우에 의한 영향을 많이 받았음을 알 수 있다. 요인 2는 계절적 변화에 따라 전 지점에서 동일한 변화패턴을 나타내고 있다. 이것은 여름 수

온 증가에 따른 DO 포화량의 감소와 겨울 수온 하강에 따른 포화도 증가가 일정하게 반복되는 것을 의미하며, 세 지점 모두 유사한 계절적 변동 특성을 나타내고 있었다. 내부생산 변화와 연안개발 등과 같은 외부부하에 의한 영향을 나타내는 요인 3에서는 담수 영향을 직접 받는 지점 1이 하천의 영향을 크게 받았으며, 상대적으로 외해역인 지점 9에서는 하천영향이 크지 않은 것으로 나타났다.

3.4. 군집분석

인천연안에서 지점별, 연도별로 수질인자에 대한 수질변동에 미치는 유사성을 갖게 함으로써 각각에 대한 차이를 명확하게 하기 위하여 주성분 분석에서 얻어진 요인점수를 이용하여 군집분석을 수행하였다. 지점별, 연도별로 분석된 결과를 덴드로그램(dendrogram)으로 도식화하여 Fig. 7~8에 나타내었다.

일반적으로 상대적인 거리가 적을수록 유사성이 크며, 클수록 유사성이 적음을 의미한다. 지점에

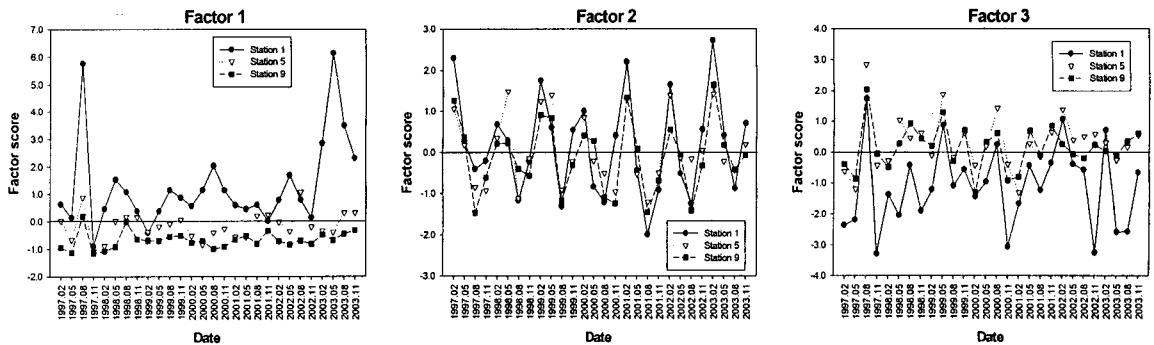


Fig. 6. Time series variation of factor score for factor I, II, III.

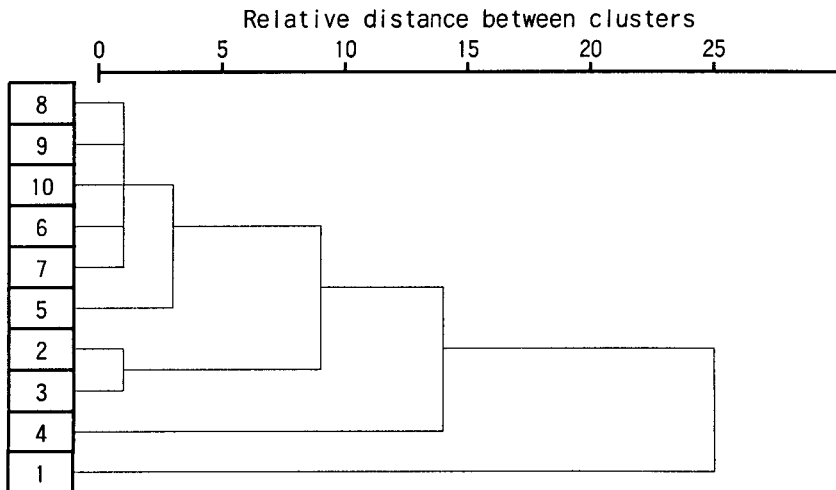


Fig. 7. Dendrogram of unweighted pair-group arithmetic average cluster analysis at station based on factor score.

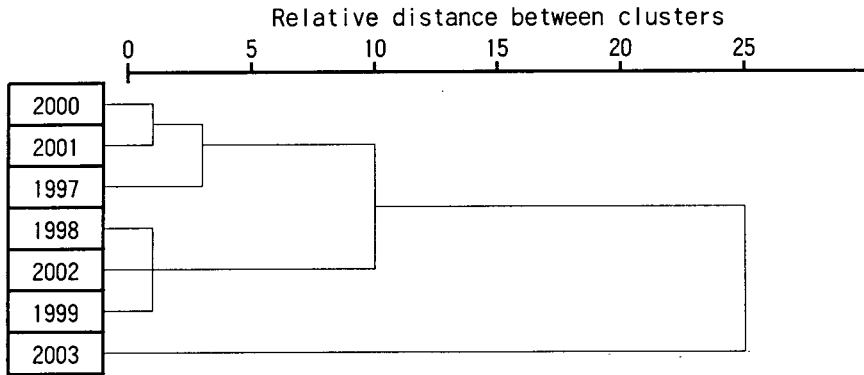


Fig. 8. Dendrogram of unweighted pair-group arithmetic average cluster analysis at year based on factor score.

대한 군집분석에서 4개의 그룹으로 나타낼 수 있는데, 육역으로부터 한강의 영향을 가장 많이 받는 지점 1이 독립된 특성을 보여주고 있으며, 중간 전이지역인 지점 2와 3이 한 그룹으로, 그리고 외해역의 특성을 지닌 지점 5~10이 한 그룹으로 나타났으며, 오이도 하수처리장의 영향을 많이 받는 지점 4가 독립된 특성을 보였다. 연도별 군집분석에서는 1997~2002년까지는 유사하나 2003년에 다른 수질 양상을 나타내었다. 2003년도의 다른 수질양상은 이 시기에 연평균 강우량은 1702mm로 평년 강우량보다 큰 강우를 보였고, 또한 환경오염물질 배출시설수로 2003년에 가장 높았기 때문에 판단된다¹⁷⁾.

4. 결 론

인천연안의 수질특성 평가를 위하여 다변량 해석 기법의 하나인 요인분석과 군집분석을 이용하여 자료를 해석한 결과는 다음과 같다.

요인분석 결과 수질특성의 설명 능력은 영양염 변동을 설명하는 요인 1이 36.98%, 기후변동에 의한 계절적 변화를 설명하는 요인 2가 16.20%, 내부물질 변화를 나타내는 요인 3은 11.24%를 설명할 수 있어, 전체 수질변동의 64%를 설명할 수 있다.

요인점수에 의한 지점분석에서 한강의 영향을 받는 지점 1과 한강 및 인천항의 전이해역인 지점 2~3, 그리고 인천연안역의 시화호 건설에 영향을 받는 지점 5~10 및 오이도 하수처리장의 영향을 받는 지점 4의 4개의 그룹으로 구분되었으며, 지점에 대한 군집분석의 결과에서도 요인점수에 의한 분석결과와 유사하게 나타났다.

이상의 결과에서 본 조사해역은 한강의 영향을 받는 해역과 안산시 오이도 하수처리장의 영향을 받는 해역 그리고 시화호 전면 해역으로 구분되며,

오이도 하수처리시설의 영양염 부하가 중요한 요인으로 작용하고 있어, 이에 대한 관리가 필요하다고 판단된다. 또한 계절적 변동에서 강우 및 동계 계절풍에 의한 영향이 나타나는데 계절적 영향시기에 대한 오염관리를 위한 대책수립도 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 中路勉, 港和行, 人江鎖三, 1979, 河川水質の 統計學的 研究(I)-長野縣內天龍川水質への 多變量 解析の適用-, J. of the faculty of Agri., Shinshu Univ., 16, 79-92.
- 2) 大內晟, 1984, 廣島灣の 赤潮豫察 システムについて, 廣水試研報, 14, 31-38.
- 3) 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.
- 4) 大內晟, 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.
- 5) 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), pp.91-95.
- 6) 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, 26(2), 213-252.
- 7) 大內晟, 高山晴義, 1981, 主成分分析法による赤潮図 について, Bull. of the Japanese Soc. of Sci. Fish., 47(10), 1275-1279.
- 8) 坂本博明, 濱口龍司, 岩瀬政吉, 1988, 東北海道茶內 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.
- 9) Hong, S. W., Y. C. Ha and T. S. Ahn, 1985, Factor analysis of water quality and ecosystem in Jinhae bay, J. Korea water Pollut. Res.,

October, 9-17

- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) Kim, J. G., 1998, Evaluation of water quality in the Keum river estuary by multivariate analysis, J. of Korean Environ. Sci. Soc., 7(5), 591-598.
- 14) Jang, J. H., 1999, A multivariate analysis of water quality characteristics in the Nakdong estuary, M. D. Thesis, Pukyung Nat'l Uni., 75-76.
- 15) Boyer J. N., J. W. Fourqurean and R. D. Jones, 1997, Spatial characterization of water quality in Florida bay and Whitewater bay by multivariate analysis: zone of similar influence, Estuaries, 20(4), 743-758.
- 16) 국립수산과학원(<http://www.nfrdi.re.kr>), 인천연안 해양환경조사자료.
- 17) 인천광역시, 2005, 추계 인천통계연보.