

다변량 해석에 의한 마산만 저층수의 수질평가

이무강 · 황정욱 · 최영광*

경성대학교 공과대학 환경공학과, *충무해양경찰서
(1995년 4월 12일 접수)

Water Quality Evaluation on the Bottom Water of Masan Bay by Multivariate Analysis

Mu-Kang Lee, Jeung-Wook Hwang and Young-Kwang Choi*

Dept. of Environmental Engineering, Kyungsoong University, Pusan, 608-736, Korea
(Manuscript received 12 April 1995)

Abstract

During the last two decades, many industrial complexes for heavy and chemical industries have been established along the Korean coastline, thereby increasing the pollution materials burden on the coastal environment of seawater. Masan Bay is one of the most polluted coastal areas in Korea and the main sources of pollutants are domestic and industrial wastewater from Masan, Changwon.

This study was aimed to evaluate relationships among the physicochemical parameters in the bottom water of Masan bay and to examine environmental factors affecting to pollutions of seawater by factor analysis.

The factor loading, 1 is showed higher increasing inclination after 1989 year in station 1. The variance of pollutant materials is showed 43.7% in which the coastal inflow water is indicated external loadings(factor 1 : NO_3^- -N, TN, factor 4 : SiO_2 -Si) corresponded to domestic sewage, industrial wastewater, and earth-sands in the bottom water of Masan bay. And the internal loadings(factor 2 : SS, salinity, factor 3 : W.T., DO) are explained 33.8% corresponded the phenomena of sedimentary layer and oxygen concentration. Therefore, The external loadings are explained by the higher factor pollutant variance in Masan bay.

Key Words : Masan bay, factor analysis, factor loading, bottom-water, varimax rotation

1. 서 론

마산만은 정체성이 강한 반폐쇄성 해역으로 소량의 오염물질만 유입되어도 해수 수질이 크게 악화되는 큰 해역으로서, 항만내에서 증식한 조류와 하천을 통하여 유입된 오탁물질이 해저에 침강 퇴적되고, 이렇게 침강 퇴적된 오탁물질은 분해

무기화되어 재부상 및 수중에 용해됨으로써 영양염 재생의 장소를 제공하고 있는 실정이다.

다변량 해석은 한가지 이상의 변수들이 서로 상관관계를 맺고 있어서 직접적으로 해석하기 어려운 변수들간의 구조적 상관관계를 원래변수보다 적은 수의 인자를 상정하여 분석하는 방법이다. 주성분 분석(principal components analysis)은 인

자연적(factor analysis)의 모델의 근사해를 구하는 기본적인 방법의 하나로 많은 변량(variables)을 가지는 자료를 서로 무상관인 소량의 종합적인 특성치, 즉 주성분으로 요약하여 설명하는 수치해석의 한 방법으로 비교적 복잡한 문제들에 대한 의문점들을 명확하게 제기해 주고 있다.

이와 같은 통계적 기법을 사용하여 최근 복잡한 자연적인 수질환경의 영향인자의 분석, 변동구조의 해명등을 통한 수질의 종합평가에 대하여 많은 연구가 진행되고 있다.

다변량 해석기법은 Brifford(1967)에 의해 통계적인 기상예보의 한 기법으로 적용하여 대기오염 현상을 해석하는 방편으로써 현상의 해석과 통계적인 대기오염의 예측모델링에 적용한 이후, 최근에는 石川公敏(1978)이 해양환경 조사결과에 대한 다변량 해석의 응용에 있어서 주성분 분석법으로 해양특성을 설명한 후부터 일본에서도 주성분 분석으로 해양환경을 평가하였다.

藤本千鶴(1986)등은 주성분 분석으로 하천 및 호소수질의 변동을 종합적으로 평가하는 종합수질 지표를 작성하여 수질의 변동 특성을 설명하였으며, 中島重旗(1987)등은 주성분 분석을 이용하여 阿蘇火山 유역내에 있는 하천의 오염상태를 평가하였으며, 국내에는 홍순우(1986)등이 요인분석을 통하여 진해만 생태계의 변화를 초래하는 요인이 식물성 플랑크톤의 이상증식과 영양염류가 중요한 요인이라는 것을 통계적으로 확인하였고, 해양수질의 분석평가에 대한 연구는 미약한 실정이다.

본 연구에서는 반폐쇄성이며 오락도가 증가하고 있는 마산만에 대하여 많은 변수가 관련된 복잡한 해양 수질계의 특징을 파악하고, 다변량 해석방법 중 주성분 분석을 적용하여 수질 분석항목들을 서로 무상관한 소수의 새로운 요인들로 집약하고 각 요인간의 관계를 검토함으로써 마산만 저층수의 수질양상에 대한 종합적인 평가를 시도하였다.

2. 마산만의 수질자료의 특성과 선정

마산만은 진해만의 북쪽에 인접한 내만으로 중

축 방향의 길이가 남북으로 약 8.5Km, 최대폭 1.5Km, 표면적 15Km², 만입구를 제외한 해역의 수심이 10-15m 미만인 얕은 해역이다. 만내의 해수유동은 주로 조석의 주기에 따른 왕복성 조류의 형태로 나타내며, 만의 북단과 측면에서 유입하는 담수의 영향이 중첩되어 있다. 만내 조위의 변화는 최대조차가 250cm이며, 만내의 유속은 대조기에 최대 17.75cm/sec이고, 소조기에는 7.0cm/sec이며, 이동거리는 대조기에 2.45km, 소조기에는 0.9km로서 해수의 유동이 미약하다.

지점선정은 Fig.1과 같으며, 마산만 상류내해 지점(st.1)에서 하류인 진해만 입구지점(st.5)에 이르는 5개 지점중에서 해역의 대표성을 부여할 수 있는 3개 지점을 선정하였으며, 수질측정시기는 1985년부터 1991까지 각기 3월, 6월, 8월과 10월에 하였다.

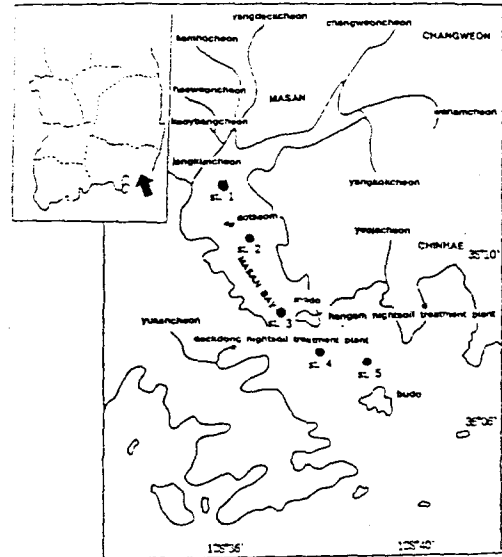


Fig. 1. Locations of sampling stations.

마산만 저층수의 항목별 평균과 표준편차는 Table 1과 같으며, 요인해석을 통한 수질평가의 자료는 1985년부터 1991년까지 7년간 정기적으로 매년 4회씩 만조시 저층에서 1m높이에서 채취하여 측정된 해양경찰청의 시험연구보(1986-1991) "전국연안 수질 오염도 조사연구"편을 사용하였

다. 총 12개의 항목중 pH 및 COD는 7년간 평균 표준편차가 0.3 및 1.0으로 극히 작지만, 이러한 변량의 변동을 미치고, 수질평가의 오차를 일으키므로 표준편차가 1.0 이하의 변량은 해석에서 제외시켜 10개 항목으로 총변량 1680개에서 840개로 1/2 집약할 수 있었다.

선정되어진 변량을 사용하여 연차적인 추세경향을 알아본 결과, 용존산소(DO)는 점진적으로 감소하며, 염분(salinity)과 부유물질(SS)는 점진적으로 증가경향을 보이고 있으며, 계절적인 경향으로는 수온(W.T.)와 질산성 질소(NO₃⁻-N), 그리고 인산성 인(PO₄⁻-P)은 하절기에 높고, 동절기에 낮은 주기성을 나타내고 있으며 COD와 SS는 하절기가 높은 주기성이 있으며, DO는 하절기에 낮고, 동절기에 높은 주기성을 가지고 있다.

Table 1. Basic statistical data.

Items	Unit	Average of Items	Standrad devision
W.T.	℃	15.3	5.4
pH	.	7.9	0.3
COD	mg/l	1.9	1.0
DO	mg/l	7.5	3.3
Salinity	‰	28.7	3.0
SS	mg/l	19.8	12.8
NH ₃ -N	ug/l	233.8	192.2
NO ₂ ⁻ -N	ug/l	72.1	83.5
NO ₃ ⁻ -N	ug/l	281.5	337.4
T-N	ug/l	583.4	458.8
PO ₄ ⁻ -P	ug/l	97.3	75.5
SiO ₂ -Si	ug/l	337.5	292.5

Table 2. Person Correlation matrix.

	DO	NH ₃ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ -P	Salinity	SiO ₂ -Si	SS	W.T.	T-N
DO	1.000									
NH ₃ -N	-0.182	1.000								
NO ₃ ⁻ -N	-0.240	0.548	1.000							
NO ₂ ⁻ -N	-0.003	0.464	0.526	1.000						
PO ₄ ⁻ -P	-0.330	0.039	0.277	0.263	1.000					
Salinity	-0.231	-0.046	0.198	-0.030	0.142	1.000				
SiO ₂ -Si	0.368	-0.046	0.033	0.109	0.160	-0.061	1.000			
SS	-0.189	-0.095	0.276	-0.142	0.278	0.360	-0.033	1.000		
W.T.	-0.455	0.027	-0.061	0.101	0.257	-0.123	0.185	-0.141	1.000	
T-N	-0.132	0.862	0.708	0.838	0.194	-0.013	0.035	-0.086	0.058	1.000

지점별 변화양상을 보면, DO와 염분은 1, 3, 5 지점순으로 높게 나타났으며, COD, NO₃⁻-N, PO₄⁻-P, SiO₂-Si는 1, 3, 5지점순으로 낮게 나타났는데, 특히 총질소(T-N)중 NO₃⁻-N이 특성치의 60%이상 점유율을 나타내며, SS 및 암모니아성 질소(NH₃-N)이 3지점에서 변동의 폭이 높고, 그의 항목은 1지점에서 변동폭이 큰 것으로 나타났다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 저층수의 상관분석

Table 2는 항목간의 선형관계를 수치로 알아보기 위하여 7년간 항목별 측정치를 합하여 단순 상관행렬을 계산한 결과치이다.

수질 항목간에 단순 상관행렬을 살펴보면, 정(+)상관을 보이는 것으로는,

T-N	: NH ₃ -N	r = 0.862
T-N	: NO ₂ ⁻ -N	r = 0.708
T-N	: NO ₃ ⁻ -N	r = 0.838
NO ₂ ⁻ -N	: NH ₃ -N	r = 0.548
NO ₂ ⁻ -N	: NH ₃ -N	r = 0.548
NO ₂ ⁻ -N	: NO ₃ ⁻ -N	r = 0.526
NO ₃ ⁻ -N	: NH ₃ -N	r = 0.464

역(-)의 상관을 보이는 항목은,

DO : W.T. $r = -0.455$

DO : PO_4^- -P $r = -0.330$

으로 나타났으며, 그 밖의 항목들간에는 상관계수가 너무 낮아 해석에서 제외 하였다.

3-2. 저층수의 주성분 분석

새로운 요인의 수를 결정하기 위하여 고유치(eigen value)는 1.0을 기준으로, 요인1의 고유치는 3.145이고, 기여율은 31.5%이며, 요인2부터 요인4까지의 기여율은 각각 18.5%, 14.6%, 12.8%로써 요인1을 제외하고는 15% 내외의 기여율을 보이고 있다. 이들 요인1부터 요인4까지의 누적 기여율은 77.5%로서 마산만 저층수의 수질변동의 전체 분산을 77.5%까지 설명하고 있음을 알 수 있으며, 그 밖의 요인들은 설득력이 낮아 제외하였다.

또한, 최초의 인자 부하량을 분석한 결과 요인 적재량이 특정요인에 높게 적재되어 있는지 여부

를 판단하기가 어려워 요인의 구조를 명확히 하기 위하여, 직각 회전방식 중에서 하나의 요인에 높게 적재되는 변수의 수를 줄여서 요인의 해석에 중점을 두는 Varimax방식을 적용하였으며, Table 3과 같은 결과를 얻었다.

회전된 인자 부하량을 살펴보면 요인1은 T-N, NH_3 -N, NO_3^- -N, NO_2^- -N과 밀접한 관련성을 나타내고 있으며, 요인2는 SS와 염분, 요인3은 W.T.와 DO, PO_4^- -P, 요인4는 SiO_2 -Si와 DO가 높은 상관성을 나타내고 있으며, 회전시킨 후의 새로운 요인들에 적재되어 있는 변수들의 적재상태를 Fig. 2부터 Fig. 7에 나타내었다.

다음에 전체변량의 주된 요인을 알아보기 위하여 아래와 같이 주성분 분석을 실시한 결과, 요인1에서 0.7이상의 고인자 부하량으로 나타난 것은 Table 3에서 나타낸 것처럼 T-N, NH_3 -N, NO_3^- -N, NO_2^- -N이고, 모두 정(+)의 상관을 나타내었다. 이들은 부영양화 현상과 관련이 높고, Fig. 2, 3, 5에서도 볼 수가 있듯이 질산성 무기영양염과의 상관관계가 매우 높게 나타난 것도 이를 뒷받침 하고 있다.

Table 3. Rotated loadings

ROTATED LOADINGS				
	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4
T-N	0.991	0.050	0.057	0.005
NH_3 -N	0.845	0.112	0.008	-0.191
NO_3^- -N	0.820	0.087	0.094	0.215
NO_2^- -N	0.780	-0.401	0.035	0.003
SS	-0.063	-0.839	0.009	0.017
Salinity	0.002	-0.725	-0.020	-0.119
W.T.	-0.028	0.258	0.877	0.088
DO	-0.115	0.261	-0.714	0.554
PO_4^- -P	0.192	-0.430	0.587	0.312
SiO_2 -Si	0.022	0.042	0.077	0.910
VARIANCE EXPLAINED BY ROTATED COMPONENTS				
	1	2	3	4
	3.032	1.735	1.644	1.335
PERCENT OF TOTAL VARIANCE EXPLAINED				
	1	2	3	4
	30.319	17.154	16.439	13.361
CUMULATIVE PERCENTAGE				
	1	2	3	4
	30.319	47.673	64.112	77.473

Fig. 2의 경우 요인1(factor 1)을 외부 부하량으로 보고, 요인2(factor 2)를 내부 부하량으로 하면, 마산시내에 있는 하천수는 일반 도시 하천수의 오염처럼 유기물과 분뇨에 의한 오염이 심할뿐만 아니라 유역에 있는 공장으로부터 배출되는 공장폐수가 혼합된 것이 하천을 통하여 마산만으로 유입되는 하천수가 마산만 오염의 가장 큰 원인이라고 사료된다.

그러므로, 요인1은 하천수 유입에 따른 외부적인 오염현상으로 1지점에 많은 영향을 미치는 것으로 해석되어지며, 특히 NO_3^- -N이 높은 것은 저층수중 암모니아가 산화하여 아질산성 질소가 생성되고 다시 질산성 질소로 되어가는 경향임을 알 수 있다.

요인2에서 고인자 부하량으로 나타난 것은 SS와 Salinity로 제2요인에 대해 다같이 역(-)의 상관관을 나타 내었다. 이들은 현탁물질과 염분에 상관된 성층현상과 관련이 깊을 것으로 보여지며 Table 3과 Fig. 2, 4, 6에서도 볼 수 있듯이 이는 해저의 물리적인 현상으로 조류에 의한 현탁물질의 와류현상, 혹은 조류를 따라 흐르는 현탁물질이 침강현상에 기인 된다고 생각된다.

요인3에서 고인자 부하량으로 나타난 것은 W.T와 DO로서 2요인에 대해 Table 2와 Fig. 3, 4, 7에서와 같이 상관계수가 -0.455로 비교적 높은 역(-)의 상관으로 상반되는 적재경향을 나타내었다. 이들은 저층수의 산소농도와 온도가 상반되는

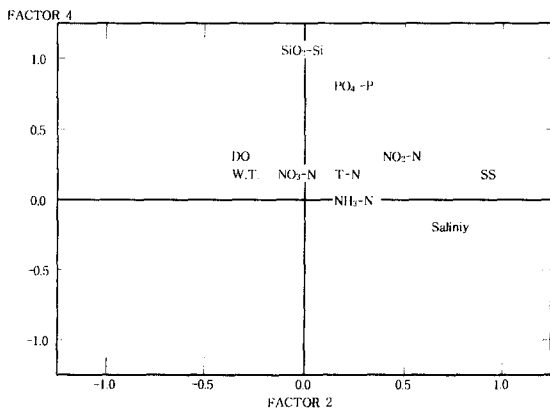


Fig. 2. Factor loading with Varimax rotation for Factor 1 and Factor 2.

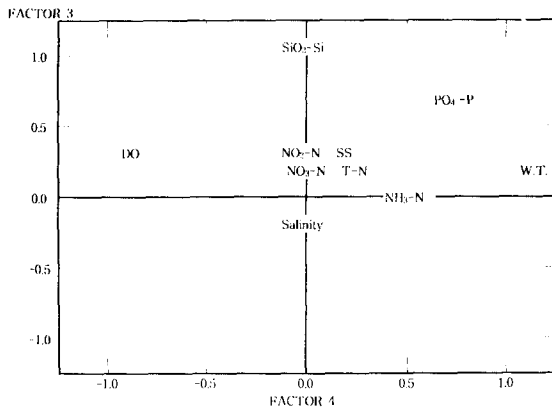


Fig. 3. Factor loading with Varimax rotation for Factor 1 and Factor 3.

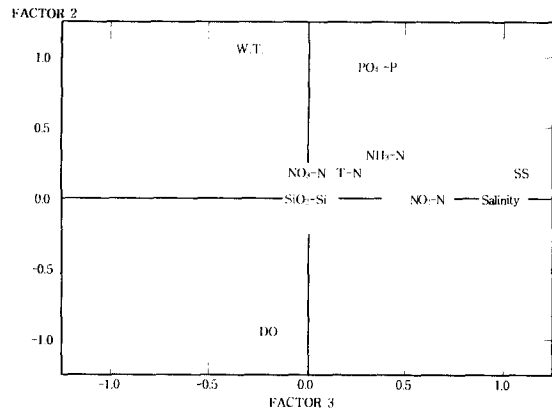


Fig. 4. Factor loading with Varimax rotation for Factor 2 and Factor 3.

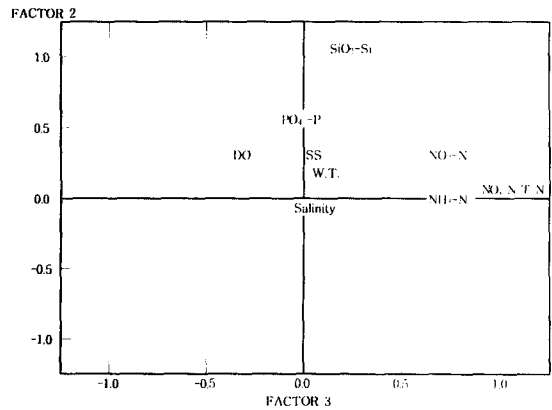


Fig. 5. Factor loading with Varimax rotation for Factor 1 and Factor 4.

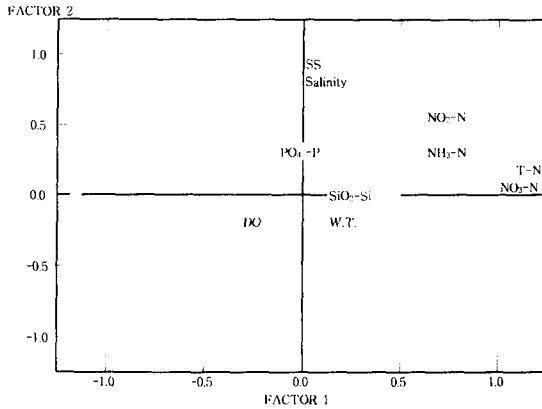


Fig. 6. Factor loading with Varimax rotation for Factor 2 and Factor 4.

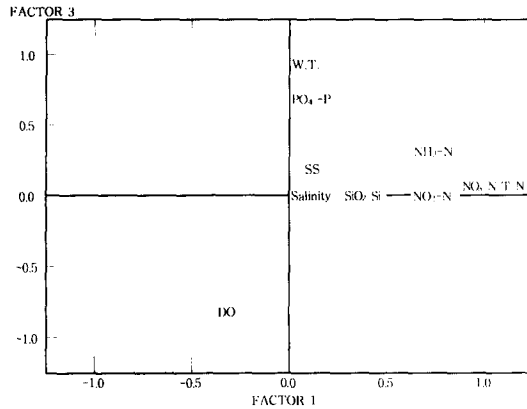


Fig. 7. Factor loading with Varimax rotation for Factor 3 and Factor 4.

경향을 나타내며, PO_4 -P와의 상관도 비교적 높게 나타난 것으로 미루어 해저 퇴적층에서 유기물의 혐기성 분해가 일어나는 현상으로 해석되어지며, 마산만 저층의 DO는 심한 계절적 변이를 보이며 여름에 주기적으로 산소고갈 상태가 됨을 알 수 있다. 진해만 일원의 오염실태 조사보고서(환경처, 1991)에서 DO의 수직분포를 보면 해저면에서 2m까지는 거의 완전한 산소고갈 상태가 된다고 한 것과 잘 일치하고 있다.

近藤邦男(1985)등은 저질에서의 무기영양염의 용출은 W.T.과 정(+)의 높은 상관이고, 또 용존산소 농도의 변화에 따른 PO_4 -P의 용출속도를 측정 한 결과, 무기영양염의 용출은 DO(%)와 높은

역(-)의 상관에 있다고 보고하고 있으며, 더욱이 혐기성 조건하에서 PO_4 -P의 용출이 촉진되는 것은 Bates(1981)등이 Warner호에 대하여 행했던 저질로부터의 인의 용출에 관한 실험적 검토에서도 잘 설명하고 있다.

요인4에서 고인자 부하량으로 나타난 것은 SiO_2 -Si 만이 높게 나타났고, Fig. 5, 6에서와 같이 PO_4 -P와도 높은 상관으로 미루어 도시하수로 흘러드는 SiO_2 -Si와 관련이 많음을 알 수 있다. DO는 인자 부하량이 0.554로서 SiO_2 -Si보다는 작은 값이지만, DO가 정(+)의 상관으로 영향이 있고 지점별 변화양상이 1, 3, 5 지점순으로 낮아지며 봄에 가장 많이 발생하는 것으로 우수에 의한 하천수가 주요인으로 이라고 사료된다.

3-3. 지점별 인자 부하량 및 인자특점의 시계열 변화

3개지점의 인자 부하량을 알아보고 요인변동의 특징을 구명하기 위하여 각 지점의 인자특점(factor score)의 시계열 변화에 대하여 검토 하였다. 인자특점은 요인마다 다수의 특성치로 나타나는 인자변동을 수치화 하고 그 변동의 크기를 상대적으로 평가하였다. 이러한 기준으로 평가한 각 지점의 요인변동을 알아보기 위하여 인자특점을 각각 Table 4, 5, 6으로 나타내었다.

제1요인은 PO_4 -P와 역(-)의 상관을 나타내는 NO_3 -N, T-N이고, 인자특점이 89년 1차, 4차와 90년 3차에 높은 값을 나타낸 것은 89년 90년에 준설로 인하여 하천수 유입에 따른 질산염이 높아졌기 때문이며, 제2요인은 SiO_2 -Si, NO_3 -N과 역(-)의 상관으로 나타나는 DO이며, 인자특점이 86년 1차와 2차에 현격한 차이를 보이는 것은 W.T.와 DO가 강한 역(-)의 상관으로 해저에서의 혐기성분해 현상으로 보여졌다.

제3요인은 염분과 NH_3 -N는 역(-)의 상관을 나타내는 SiO_2 -Si이고, 인자특점이 85년 2차와 89년 1차에 높게 나타난 현상은 호우로 인하여 인근 하천수로 토사가 많이 유입된 것으로 보여진다. 제4요인은 W.T., DO, PO_4 -P, SiO_2 -Si와 역(-)의 상관을 나타내는 염분이고, 인자특점이 86년 4차에

현격히 낮게 나타난 것은 호우로 인하여 염분이 희석된 상태에서 시료를 채취한 것으로 사료된다.

제3지점(st.3)의 제1요인은 DO, PO₄⁻-P와 역(-)의 상관관을 나타내는 NO₃⁻-N, T-N이고, 인자득점이 대체로 하절기는 높고 동절기는 낮은 주기성을 나타내는 것은 인근에 덕동 분뇨처리장의 영향이 많다는 것을 알 수 있다. 제2요인은 DO와 역(-)의 상관관으로 나타나는 W.T.이다. 매년 일정한 주기성을 가지고 있고, 염분과 NH₃-N와도 역(-)의 상관관을 가지는 것 보아 해저내부의 성층현상으로 보여졌다.

제3요인은 외부에서 유입되는 SS인데, DO, NO₃⁻-N와 역(-)의 상관관을 나타내고 타지점보다 변동폭도 크게 나타나 협수로로 인한 조류의 유속이 빨라져서 부유물질의 이동이 많은 것을 알 수 있다. 제4요인은 SiO₂-Si와 같이 역(-)의 상관관을 가지는 DO이며, 인자득점이 하절기에 높게 나타나는 것은 DO가 고갈되는 것으로 보여지며 이는 해저에서의 혐기성 분해현상으로 보여진다.

제5지점(st.5)의 제1요인은 DO, 염분, SS, SiO₂와 역(-)의 상관관을 나타내는 NH₃-N, T-N이고, 인자득점이 87년 3차에 높게 나타난 것은 외부에서 흘러드는 질산염이 와류현상으로 인하여 고농도로 농축되어진 것이라 생각되어진다. 제2요인은 염분, NO₂⁻-N, PO₄⁻-P와같이 역(-)의 상관관을 나타내는 SS이며, 인자득점이 매년 감소추세에 있는 것은 해저의 유동에 의한 현탁물질의 축적으로 보여진다.

제3요인은 W.T.이며 DO, 염분, SS, NO₂와 역(-)의 상관관을 나타내며, 인자득점은 일정한 주기성을 가지므로 이는 해저 내부의 성층현상으로 보여진다. 제4요인은 SiO₂-Si이며 염분, SS, NH₃-N와 역(-)의 상관관을 나타내었다.

각 지점별 인자부하량 및 인자득점의 시계열변화에 대하여 정리해보면 제1지점은 도시 하천수의 유입에 따른 NO₃⁻-N 및 PO₄⁻-P, SiO₂-Si의 외부 부하량이 가장 크게 나타났고, 염분은 가장 낮은 농도로 나타내고, 특히 DO가 가장 낮은 것으로 보여져 해저의 퇴적층에서 혐기성분해가 가장 많이 일어나는 것으로 해석되어졌다.

Table 4. Factor scores at station 1

Items		Factor1	Factor2	Factor3	Factor4
85'	1st	-0.090	-1.209	-0.523	-1.324
	2nd	-0.537	-1.482	2.639	-0.220
	3rd	-0.505	-0.713	1.218	-0.959
	4th	-0.242	0.444	-0.218	-0.269
86'	1st	-0.799	-2.319	-0.226	0.595
	2nd	-0.073	2.075	-0.719	-1.331
	3rd	-0.076	-0.313	-0.783	-0.757
	4th	-0.395	0.478	-0.582	-2.741
87'	1st	-0.079	0.528	-0.571	0.859
	2nd	-0.094	-0.716	-0.495	1.229
	3rd	-0.155	-0.690	-0.367	-1.634
	4th	-0.670	-0.413	-0.341	0.462
88'	1st	-0.533	-1.152	0.525	0.483
	2nd	-0.141	0.466	-0.040	0.155
	3rd	-0.347	0.749	-0.237	-0.189
	4th	-0.582	0.794	-0.313	0.897
89'	1st	2.098	0.378	2.407	-0.715
	2nd	-0.072	0.845	1.998	0.869
	3rd	0.282	1.420	-0.012	0.301
	4th	3.202	-0.615	-0.367	0.122
90'	1st	0.069	0.455	-0.238	0.825
	2nd	-0.378	-0.603	-0.809	0.473
	3rd	2.791	-0.615	-1.184	0.786
	4th	-0.862	0.004	-0.174	0.922
91'	1st	-0.269	0.993	1.043	-0.097
	2nd	-0.382	0.460	0.076	-0.942
	3rd	-0.474	1.554	-0.387	1.695
	4th	-0.685	-0.804	-0.320	0.502

Table 5. Factor scores at station 3

Items		Factor1	Factor2	Factor3	Factor4
85'	1st	-0.649	-1.441	-0.735	-0.264
	2nd	-1.210	0.255	-1.438	-0.308
	3rd	-0.688	1.821	1.373	-0.226
	4th	-0.937	0.603	-0.142	-0.480
86'	1st	-0.897	-1.270	-1.095	-2.276
	2nd	-0.815	-0.490	-1.497	1.191
	3rd	0.107	1.528	-0.019	-0.229
	4th	0.321	-0.057	-0.150	0.823
87'	1st	-0.468	-1.221	-0.804	-0.276
	2nd	1.373	0.242	-0.803	-0.997
	3rd	1.941	0.854	-1.171	0.871
	4th	0.030	0.803	-0.111	-1.033
88'	1st	-0.806	-1.438	0.483	-0.420
	2nd	-0.019	0.422	-0.151	-0.987
	3rd	-0.129	1.412	-0.362	0.462
	4th	-0.964	0.895	-0.756	0.541
89'	1st	1.879	-0.788	1.316	-0.133
	2nd	1.349	0.785	1.786	-1.098
	3rd	0.408	0.216	0.007	2.603
	4th	0.171	-0.410	0.698	-0.790
90'	1st	-1.338	-0.860	0.174	0.392
	2nd	-0.887	-0.602	2.348	0.579
	3rd	0.085	1.012	-0.012	-0.484
	4th	-0.849	1.130	-0.667	-0.560
91'	1st	0.200	-1.681	1.182	-0.314
	2nd	2.212	-0.798	-0.158	1.638
	3rd	-0.304	-0.089	-0.365	1.463
	4th	-0.913	-0.832	-0.832	0.310

제3지점은 덕동 분뇨처리장의 영향이 크고 협수로 인한 해저에서의 부유물질 이동이 많으며, 마산만과 진해만의 교차지점인 제5지점은 와류현상으로 해수의 순환이 잘 이루어지지 않지만, 마산시 덕동 분뇨처리장과 진해시 행암 분뇨처리장의 간접

적인 영향으로 타지점에 비해서는 오염도가 낮다.

각 지점의 공통사항으로는 산소고갈로 인한 혐기성 분해현상이 일어나고, 특히 현탁물질이 매년 증가추세에 있으므로 마산만 수질이 탁해져 가는 것으로 사료되었다.

Table 6. Factor scores at station 5

Year	Items	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4
85'	1st	-0.874	0.694	-1.378	-0.680
	2nd	-0.744	0.875	-1.228	3.675
	3rd	-0.256	1.333	1.752	-0.268
	4th	-0.424	-1.260	0.665	-0.868
86'	1st	0.073	1.388	-1.784	-0.528
	2nd	-1.058	1.755	-0.493	-0.616
	3rd	0.362	0.656	0.965	-0.943
	4th	0.554	0.087	-0.105	-0.589
87'	1st	-0.387	1.367	-1.170	-0.838
	2nd	1.150	0.650	-0.175	-0.066
	3rd	3.477	0.651	0.294	-0.075
	4th	0.216	0.362	1.041	-1.032
88'	1st	-0.758	-0.731	-1.469	0.682
	2nd	0.179	-0.446	-0.161	-0.047
	3rd	0.312	-0.779	0.143	-0.722
	4th	-0.946	0.256	1.118	-0.463
89'	1st	1.229	-1.417	-0.293	0.276
	2nd	1.240	-0.902	0.308	2.043
	3rd	-0.818	-0.180	0.322	1.198
	4th	2.013	-0.233	-0.883	0.681
90'	1st	-0.850	-1.502	-0.704	-0.637
	2nd	-0.469	-2.635	-0.032	-0.283
	3rd	-0.391	0.095	1.436	-0.504
	4th	-0.933	0.515	0.718	-0.101
91'	1st	-0.255	0.073	-1.619	-0.021
	2nd	-0.264	-0.439	0.103	-0.602
	3rd	0.130	0.079	-0.415	0.024
	4th	-0.508	-0.312	-0.753	0.247

3-4. 마산만에 대한 오염물질의 부하양상

마산만 저층수의 종합적인 오염물질의 부하양상 (loading pattern)은 Table 7과 같다.

마산만의 지점별, 계절별 부하양상은 제1요인인 질산염으로 나타나고 있으므로 도시하수 및 산업 폐수 등에 의한 오염형태로 해석되어지고, 제4요인은 대체적으로 연안토사 유입으로 인한 SiO₂-Si, 합성세제의 유입으로 인한 PO₄⁻-P, 정화조의 분뇨 유입으로 인한 NH₃-N으로 나타났다. 요인1과 요인4는 외부적인 부하량으로 해석되고, 요인2 및 요인3은 해저의 성층현상과 유기물질의 혐기성 분해현상으로 내부적인 부하량으로 해석되어졌다.

계절별로 1차(3월)에 나타나는 각 요인은 부영양화 현상과 관련이 깊을 것으로 생각되며, 제2요인에 역(-)의 상관을 나타내는 항목이 많은 것은 퇴적층에서 혐기성 분해현상과 관련이 많을 것으로 생각되었다.

Table 7. The principal component for each station and season

Component		Z1	Z2	Z3	Z4
Total		NO ₃ -N, T-N	SS, Salinity	W.T., DO	SiO ₂ -Si
Each stations	site-1	NO ₃ -N, T-N	DO	SiO ₂ -Si	Salinity
	site-3	NH ₃ -N, T-N	W.T.	SS	DO
	site-5	NH ₃ -N, T-N	SS	W.T.	SiO ₂ -Si
Each seasons	1st (march)	NO ₃ -N, T-N SiO ₂ -Si, NO ₂ -N	PO ₄ -P -SALINITY	W.T. SS	NH ₃ -N
	2nd (June)	NH ₃ -N, NO ₃ -N T-N	-W.T., -SiO ₂ -Si -DO	NO ₃ -N	PO ₄ -P
	3rd (August)	NO ₃ -N, T-N	-DO -W.T.	-NH ₃ -N	SiO ₂ -Si
	4th (October)	T-N, NO ₃ -N NO ₂ -N	-W.T. DO	-NH ₃ -N	-PO ₄ -P

4. 결 론

마산만 저층수의 수질 특성은 SS와 염분과 점진적으로 증가 경향을 보였으며, DO는 감소 추세를 보이고 있는 것으로 보아, 수질이 탁해져 가는 경향으로 나타났고, 질산성 질소가 높은 상관성을 나타냈으며, DO와 W.T., PO_4 -P는 역(-)의 상관으로 나타났다.

인자부하량을 검토한 결과 제1요인은 질산성염, 제2요인은 SS와 염분, 제3요인은 W.T.와 DO, 제4요인은 SiO_2 -Si로 나타났으며, 특히 PO_4 -P는 각 요인에 역(-)성분으로 관여하고 있음을 알 수 있었다.

주성분 분석을 실시한 결과 제1요인은 부영양화와 관련된 것으로 도시하수와 산업폐수등의 유입 영향으로 해석되고, 제2요인은 성층현상과 관련된 것으로 해저의 물리적인 영향으로 해석되며, 제3요인은 저층의 산소농도와 관련된 현상으로 퇴적층에서의 혐기성 분해영향으로 해석되고, 제4요인은 우수로 인한 하천수 및 하수의 유입영향으로 해석되어졌다.

요인별로 시계열 변화를 검토한 결과, 요인1은 동기에 적고 하기에 크게 나타나는 경향이 있으며 요인2는 요인1에 비해서 변동폭이 줄었으나 주기성이 인정되었는데, 특히 요인1은 89년 이후 1지점에서 급격히 값이 증가한 것은 준설작업에 따른 영향으로 해석되었다.

각 지점별 인자득점을 보면 제1지점에서 도시하수와 산업폐수의 영향이 많은 NO_3 -N, T-N이 높게 나타나고, 3지점과 5지점에서는 덕동, 행암 분뇨처리장의 영향과 제5지점에서의 와류현상에 의한 NH_3 -N이 높게 나타난 것으로 해석되어졌다.

요인분석을 한 결과, 마산만의 저층수에 대한 수질평가는 T-N 및 PO_4 -P를 이용하여 수질을 평가하는 것이 바람직 할 것으로 판단되어졌다.

마산만 저층수의 오염물질 부하양상으로는 요인 1 및 요인4가 질산염, SiO_2 -Si로서 도시하수, 산업폐수, 연안토사등에 의한 연안 유입수 영향으로 보여지며 기여도는 43.7%이고, 요인2 및 요인3은 내부 부하량으로 33.8%의 기여도를 보이고 있어 마산만의 오염양상으로는 외부 부하량이 더 큰 요인으로 해석되었다.

참고문헌

- 홍순우, 하영철, 안태섭, 1986, 鎭海灣의 水質과 生態係에 관한 要因分析에 대하여, 江原 大學 校 生命科學 硏究報, 4, 15-23.
- 해양경찰청, 시험연구보, 1986·1987·1988·1989·1990·1991.
- 환경처, “진해만 일원 오염실태 조사 보고서,” 216-302pp, 1991.
- Bates, M. H., N. J. E. Neafus, 1991, Phosphorus release from sediments from Lake Carl Blackwell, Oklahoma, Water research, 14, 1477-1481.
- Briford, I. H., 1967, A Factor Analysis Model of large Scale Pollution, Atmospheric Environment, 1, 147.
- 近藤邦男, 清家泰, 伊達善夫, 1985, 水質汚濁硏究, 8(12), 808-815pp.
- 石川公敏, 1978, 海洋環境調査結果への多變量解析の應用-主成分分析法による海洋特性の見方,” 公害, 13, 223-239pp.
- 藤本千鶴, 廣崎昭太, 1986, 千葉縣内河川水質の總合水質指標による經年變化の評價, 水質汚濁硏究, 9(11), 46-53pp.
- 中島重旗, 松立裕子, 小田泰史, 1987, 多變量解析法による阿蘇火山流域河川の汚濁平價, 水質汚濁硏究, 10(2), 31-40pp.