

주성분분석에 의한 거금수도의 수질환경 및 식물플랑크톤 변동 요인 해석

윤 양 호 · 박 종 식
여수대학교 해양학과
(1999년 11월 20일 접수)

The analysis of variational characteristics on water quality and phytoplankton by principal component analysis(PCA) in Kogum-sudo, Southwestern part of Korea

Yang-Ho Yoon and Jong-Sick Park

Department of Oceanography, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea
(Manuscript received 20 November, 1999)

A study on the variational characteristics of water quality and phytoplankton biomass by principal component analysis(PCA) was carried out in Kogum-sudo from February to October in 1993.

We analyzed PCA on biological factors such as chlorophyll *a* and phytoplankton cell numbers for centric and pennate diatoms, phytoflagellates, and total phytoplankton as well as physico-chemical factors as water temperature, salinity, transparency, dissolved oxygen(DO), saturation of DO, apparent oxygen utilization(AOU), chemical oxygen demand(COD), nutrient (ammonia, nitrite, nitrate, phosphate and silicate), N/P ratio and suspended solid(SS).

The source of nutrients supply depended on the mineralization of organic matters and inputs of seawater from outside rather than runoff of freshwater.

The phytoplankton biomass was changed within short interval period by nutrients change. And it was controlled by the combination of several environmental factors, especially of light intensity, ammonia and phosphate.

The marine environmental characteristics were determined by the mineralization of organic matters in winter, by runoff of freshwater including high nutrients concentration in spring, by ammonia uptake and high phytoplankton productivity in summer, and phosphate supplied input seawater from outside of Kogum -sудо in autumn.

And Kogum-sudo was separated with 2 regions by score distributions of PCA. That is to say, one region was middle parts of straits which was characterized by the mixing seawater and the accumulated organic matters, other one region was Pungnam Bay and the water around Kogum Island which was done by high phytoplankton biomass and productivity year-round.

Key words : variational characteristics, water quality, phytoplankton biomass, principal component analysis(PCA), Kogum-sudo, nutrients, mineralization, seawater of outside, runoff of freshwater

1. 서 론

해양에서 발생하는 다양한 자연현상은 수많은 요인들의 복합적인 작용에 의하여 발생하는 것이기에, 현상 파악을 위한 수단으로 관계되는 요인들을 개별적으로 대입시켜 현상을 해석하고자 하는 데는 한계성을 나타내게 되며, 가능한 관련되는 요인들을 동시에 대입시켜 해석할 수 있다면 보다 보편성 있는 결과를 도출할 수 있을 것이다. 이와 같이 자연현상에 대하여 관련되는 요인들

을 가능한 동시에 대입시켜 보다 객관성 있는 해석을 유도하고자 하는 것이 다변량해석 기법이다.¹⁾ 개인용 컴퓨터의 발전이 없었던 과거에의 다변량해석은 이론으로만 존재했으며, 극히 일부 전문가에 의해 해석이 이루어졌을 뿐이나, 최근 PC의 발전에 동반하여 각 분야의 전문가 등에 의해 다양한 분야에서 손쉽게 이용할 수 있는 해석방법으로 정착하고 있다.¹⁾ 다변량해석법에도 매우 다양한 방법이 있으나, 근년 수권에서는 발생하는 현상

에 관련되면서도 인과관계의 정도가 확실치 않은 요인들을 종합적으로 대입시켜, 그들 요인으로부터 몇 개의 종합적인 특성치를 도출하는 주성분분석법이 수권의 환경 해석²⁻¹⁴⁾이나 생태계 현상 파악¹⁵⁻²⁰⁾ 등에 유효한 방법으로서 폭 넓게 활용되어지고 있다.

따라서 본 조사는 전보²¹⁻²³⁾에 이어 연안해역에 무계획적으로 난립하고 있는 연안양식어장을 정비하고 복합적인 해역 이용구상을 마련하기 위해 전라남도가 시행한 어장의 입체적 이용방안을 위한 종합적인 어장환경조사 연구의 일부로서, 주성분분석법에 의해 거금수도 해역의 어장환경 특성 및 식물플랑크톤 변동요인을 해석^{19,20)}하여, 어장의 이용·관리에 필요한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

본 조사의 대상해역인 거금수도는 전남 고흥 반도와 거금도 사이에 위치하는 협수로로서, 서쪽으로는 득량만과 연결되어 있고, 남쪽으로는 남해와 직접 연결되어 있어, 서쪽과 남쪽 개방구를 통해 원활한 해수교환이 이루어지는 해역이다.²⁴⁾ 수도내의 수심은 수로부에서는 20 m 이상을 나타내고 있으나, 수도의 북쪽과 동쪽인 고흥반도 연안, 즉 풍남만 등은 10 m이하의 낮은 수심을 나타낸다.

또한 본 해역은 해수 유동이 원활하고 도서에 의해 둘러 쌓여 있어, 온화한 해역특성을 나타내고 있기에 오래 전부터 수산 증·양식 등의 어업활동이 활발하게 이루어지고 있는 곳으로, 조사 시점에도 미역, 김 등의 해조류양식과 전복 등 패류 양식이 성행하고 있었다.

그러나, 이와 같은 활발한 해역 이용에도 불구하고 본 해역을 대상으로 한 학술적인 해양환경 파악이나 해양생물상 등에 대한 조사연구는 전무하며, 다만 득량만의 해수유동 현상을 수치모델 등에 의해 해석하면서 본 해역을 포함한 보고²⁴⁾와 어장의 입체적 이용 방안에 대한 기초환경 조사의 결과보고^{21-23,25)}가 보여지고 있을 뿐이다.

2. 재료 및 방법

분석에 사용한 자료는 1993년 2월, 4월, 8월 및 10월에 거금수도 해역의 25개 관측점(Fig. 1)의 표층 해수를 대상으로 분석한 수질 및 식물플랑크톤의 측정·분석값으로 하였다.^{21,22)} 분석한 수질 및 식물플랑크톤의 항목은, 물리·화학적 해양환경요인²²⁾으로서 수온, 염분, 투명도, 용존산소, 산소포화도, 결보기산소소비량, 화학적 산소요구량, 영양염류(암모니아염, 아질산염, 질산염, 용존무기질소, 인산염, 규산염), N/P비 및 총부유물질량이고, 식물플랑크톤으로 표현하는 생물학적 환경요인²¹⁾으로는 Chlorophyll a(Chl-a), 식물플랑크톤 총세포수, 중심목 및 우상목 규조류 세포수 및 식물성편모조류 세포수를 대상으로 제공하였다.

주성분분석은 다변량해석의 SPSS 프로그램을 이용하여 개인용 컴퓨터에서 실시하였으며, 분석에 이용되는 요인들은 각기 다른 단위를 사용하고 있기에 데이터의 표준화를 필요로 하지 않은 상관행렬에 의한 주성분분석을 실시하였다. 주성분분석의 해석은 기여율을 중심으로 누적 기여율 70%까지를 기준으로 분석하였다.¹⁾

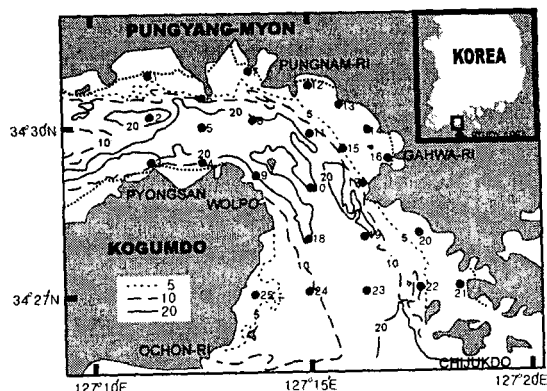


Fig. 1. A map showing bathymetry and sampling stations.

3. 결과 및 고찰

3.1. 측정값에 의한 해양환경 특성

계절별 분석항목의 최소, 평균, 최대값과 표준편차에 대하여 Table 1에 나타내었다. 수온은 6.5°C에서 25.2°C로 변화하며, 계절적으로는 봄철에 가장 큰 공간적 분포 특성을 나타내나, 수로내의 빠른 유속과 조석혼합 등으로 표층과 저층 사이의 수온 차는 그다지 크지 않아, 계절적인 수온 약층의 발달은 보여지지 않았다. 염분은 28.61 psu에서 34.22 psu로 변화하여, 여름철에 최저, 봄철에 최고값을 나타내며, 계절적으로는 여름과 겨울에 비교적 큰 공간적 분포 차이를 나타내었다. 투명도는 0.3 m에서 4.8 m의 범위로 매우 낮은 값을 나타내었으며, 계절변화보다는 조석주기에 따라 변화하는 양상을 나타내, 대조시에 낮고, 소조시에 높은 경향을 보였다.

용존산소 포화도는 83%에서 120.2%로, 최대, 최소값 모두 여름철에 나타났으며, 계절적으로도 여름을 제외하고는 평균적으로 모두 과포화상태를 나타내어, 비교적 양호한 수질환경을 나타내고 있었으며, 특히 여름철은 공간적으로 매우 큰 변동폭을 나타내었다.

영양염류 중에 용존무기질소는 1.82 μM 에서 399.4 μM 을 나타내어, 그 변동폭이 매우 큰 것으로 나타났으나, 가을철 1개 정점의 매우 높은 값을 제외하면 연간 10 μM 정도로 기초생산을 영위하는 데는 충분한 영양조건을 가지고 있는 것으로 보아졌으며, 계절적으로는 가을과 겨울에 10 μM 이상으로 높고, 봄과 가을에 8 μM 전후로 상대적으로 낮은 값을 나타내었다. 용존무기질은 nd(불검출)에서 3.87 μM 을 나타내어, 계절적으로는 육수의 유입이 풍부한 여름철에 비교적 높고(평균 1.01 μM), 식물플랑크톤 대발생이 보여지는 봄철에 매우 낮은 값(평균 0.12 μM)을 나타내었다. 규산염의 경우는 2.55 μM 에서 16.49 μM 로서 연안해역에 보여지는 규산염 농도로서는 매우 낮은 값을 보였으며, 계절적으로도 4계절 모두 평균값으로 4 μM 에서 6 μM 정도의 매우 낮은 값을 나타내는 특성을 보이고 있었다.

화학적 산소 요구량은 nd에서 2.81 mg/l이며, 여름철에 비교적 높은 값을 보이나, 4계절 모두 평균적으로 1.0 mg/l 이하의 값으로 1급수 이상의 매우 양호한 수질

Table 1. The values of minimum mean, maximum, and standard deviation on analytical parameters for four seasons

Items	Unit	winter				spring				summer				autumn			
		min.	mean	max.	SD	min.	mean	max.	SD	min.	mean	max.	SD	min	mean	max.	SD
Temperature	℃	6.50	6.93	7.30	0.30	13.80	14.27	15.60	0.42	24.20	24.45	25.20	0.28	19.60	19.83	20.10	0.13
Salinity	psu	31.80	32.69	33.35	0.42	33.50	34.02	34.25	0.19	28.61	30.55	31.05	0.57	31.53	32.01	32.92	0.31
Transparency	m	0.30	0.65	0.90	0.19	1.00	1.46	2.10	0.39	1.50	3.08	4.80	1.03	0.50	1.13	1.80	0.35
Dissolved Oxygen	ml/l	7.39	7.54	7.83	0.13	5.79	6.20	7.64	0.35	4.95	5.38	6.27	0.32	5.34	5.47	5.85	0.16
AOU	ml/l	-0.72	-0.61	-0.52	0.06	-0.55	-0.27	0.36	0.21	-1.05	-0.16	0.25	0.32	-0.58	-0.20	-0.05	0.16
Sat. of DO	%	107.10	108.54	111.70	1.23	104.10	108.68	133.40	5.88	95.10	103.19	120.20	6.07	101.00	103.61	111.00	25.14
COD	mg/l	0.04	0.68	1.39	0.47	0.00	0.47	1.76	0.47	0.00	0.79	2.81	0.74	0.07	0.45	1.27	0.37
Ammonia	μM	0.35	0.62	1.46	0.30	1.13	2.43	4.05	0.77	0.73	1.51	4.76	0.79	0.17	1.12	2.54	0.64
Nitrite	μM	0.12	0.32	0.87	0.19	0.15	0.50	1.40	0.28	0.03	0.90	1.75	0.47	0.10	0.27	0.48	0.12
Nitrate	μM	2.74	9.25	64.16	16.64	2.01	4.00	22.74	4.28	1.26	5.95	33.62	6.50	0.97	33.21	396.33	104.56
DIN	μM	3.25	10.19	65.55	16.78	4.38	7.07	27.72	4.92	1.82	8.35	37.06	6.80	1.86	34.59	399.35	105.04
DIP	μM	0.56	0.98	1.40	0.27	0.03	0.12	0.22	0.07	0.10	1.01	3.87	0.68	0.16	0.36	0.59	0.11
Silicate	μM	2.62	4.35	8.29	1.69	2.76	4.27	16.49	2.79	2.97	5.31	10.11	1.43	4.75	5.89	7.09	0.73
N/P ratio		2.87	14.82	117.05	30.97	27.50	78.41	208.00	53.81	2.68	10.42	61.80	11.44	4.16	94.41	1109.31	292.24
Suspended Solide	mg/l	19.20	38.76	74.60	17.19	7.40	16.46	35.20	7.65	0.19	3.54	12.33	3.67	0.15	2.76	6.91	2.96
Chlorophyll-a	μg/l	0.14	1.89	4.63	1.24	0.19	0.82	2.52	0.60	36.8	420.4	1240.0	368.1	4.0	18.4	42.4	10.4
Centric diatoms	cells/l	30.0	30.0	195.0	48.2	0.6	6.9	28.0	6.7	11.2	48.6	145.0	35.3	2.4	14.5	31.2	9.8
Pennate diatoms	cells/l	5.4	5.4	52.2	13.1	8.0	24.0	55.2	10.3	11.2	48.6	145.0	35.3	2.4	14.5	31.2	9.8
Phytoplankton	cells/l	0.2	0.2	1.8	0.5	0.2	2.6	5.6	1.5	1.6	14.1	56.0	14.6	0.4	3.2	21.6	5.4
Total cell number	cells/l	35.8	35.8	231.6	59.3	12.0	33.5	68.8	14.4	54.4	484.5	1366.4	399.8	8.8	36.2	62.6	18.8

AOU : apparent oxygen utilization, Sat : Saturation, COD : chemical oxygen demand, DIN : dissolved inorganic nitrogen DIP : dissolved inorganic phosphorus
min. : minimum, max. : maximum, SD : standard deviation

상태를 나타내었다. 총 부유물질량은 7.4 mg/l에서 74.6 mg/l로 변화 폭이 매우 큰 것으로 나타났으며, 계절적 변화보다는 조석주기에 의해 더욱 영향을 받고 있는 것으로 나타나, 계절에 따른 공간적인 분포도 조석주기에 의해 변화하는 양상을 나타내고 있어, 소조시가 대조시보다 큰 분포 차이를 나타내었다.

Chl-a는 0.14 μg/l에서 12.33 μg/l의 범위로, 여름과 가을에 높고 봄에 낮은 경향을 나타내어, 봄철의 규조류 대발생 현상은 보여지지 않았다. 식물플랑크톤 현존량도 이와 유사하여 8.8 x 10³ cells/l에서 1.4 x 10⁶ cells/l의 범위로, 여름에 높고 봄에 매우 낮은 특징을 나타내고 있었다. 이는 봄철 조사가 4월말에 이루어져, 영양염류 분포 등으로 보아 겨울철 혼합에 의해 유광층 내로 유입된 영양염류는 3월말에서 4월초에 규조류 등 식물플랑크톤에 의해 흡수되어 대발생이 이루어진 후, 영양염류의 고갈로 4월말에는 매우 낮은 Chl-a를 나타내는 것으로 판단되었다.

이상과 같은 수질환경²²⁾ 및 식물플랑크톤 생물량의 결과²¹⁾로부터 거금수도는 해수 교환이 매우 원활하여 높은 생물생산을 영위할 수 있는 해역이라 보아지나, 영양염류의 공급은 그다지 원활하지 못하여, 유입된 영양염류는 생물생산에 쉽게 동화되고 있는 것으로 보여졌고, 유광층으로의 영양염류 유입은 육수유입 등에 의한 부분보다 조석 혼합이나 외부 해역으로부터의 유입정도에 의존하는 비율이 높은 것으로 보아졌다.²¹⁻²⁶⁾

3.2. 상관분석에 의한 해양환경특성

Table 2(겨울과 봄)와 Table 3(여름과 가을)에는 분석 요인 사이의 상관행렬을 나타내었다. 우선 계절별로 영양염류와 관련하는 요인을 살펴보면, DIN의 경우, 봄에

염분과 강한 음의 상관을 나타내고 있으며, 기타 계절에는 매우 약한 음의 상관을 나타내는 반면, AOU나 COD와는 강한 양의 상관을 보이고 있는 것으로부터, 거금수도의 DIN은 육상으로부터 담수유입에 의존하는 비율보다 해역 내에서 유기물 분해에 의한 영양염류 재 순환에 의해 공급되고 있는 것으로 판단된다.²²⁾ DIP의 경우는 봄에 염분과 약한 음의 상관을 나타내고 있는 것을 제외하면 기타 계절 모두에서 정도는 약하나 염분과 양의 상관을 나타내며, 수온 상승기인 봄을 제외하고는 수온과도 음의 상관, AOU나 COD와도 별다른 상관을 보이지 않고 있는 것으로부터, DIP는 주로 인산염을 보다 많은 양으로 포함하는 수도 밖 해수유입에 의존하고 있고, 여름은 이에 유기물분해에 의한 영양염류 재 순환의 비율이 첨가되고 있는 것으로 판단되었다.^{22,26)} 연안해역의 규산염은 주로 규산염을 풍부하게 용존하는 담수의 유입에 의존하게 된다. 그러나, 거금수도 인근에서는 육상으로부터 지속적으로 유입할 수 있는 담수 유입원이 존재하지 않기에 매우 낮은 농도의 규산염만이 용존하고 있다 (Table 1 참조).²²⁾ 따라서 이들 규산염은 가을을 제외하고는 염분과 음의 상관을 나타내어, 부족하나마 인근의 담수 유입원에 의존하는 비율이 높고, 여름과 가을에는 유기물 분해에 의해 상당부분 보충되는 것으로 판단된다.

식물플랑크톤에 관련하는 요인을 살펴보면, Chl-a는 봄에는 투명도와 양의 관계를, 암모니아와 음의 관계를 나타내고 있어, 겨울에는 암모니아염을 주로 흡수하고 있으며 빛의 양에 의해 성장이 지배되고 있는 것으로 보여졌다. 봄에는 질산염과 인산염에 약한 음의 상관을 규산염에 강한 양의 상관을 보이고 있어, 규산염 유입이 많은 곳에서 높은 생산이 이루어지고 있음을 나타내었다. 여름은 투명도와 음의 상관, COD와 강한 양의 상관,

Table 2. Correlation matrix on the analytical parameters for winter(upper) and spring(lower)

	Temp	Sal	Transp	DO	Sat	AOU	COD	NH ₄	NO ₂	NO ₃	DIN	DIP	Si(OH) ₄	N/P	SS	Chl-a	Cent.	Penn.	Flage	Total
Temp	1	0.056	-0.666	-0.834	-0.687	0.703	-0.187	0.494	0.276	0.319	-0.329	-0.749	-0.094	0.340	0.453	-0.171	-0.0161	-0.372	0.328	-0.215
Sal	-0.592	1	0.067	-0.335	-0.197	0.213	-0.297	-0.351	-0.246	-0.216	-0.223	0.209	-0.290	-0.224	-0.154	0.034	-0.087	-0.132	-0.044	-0.100
Transp	-0.163	0.451	1	0.562	0.477	-0.502	0.089	-0.655	-0.240	-0.199	-0.212	0.263	0.053	-0.219	-0.685	0.426	0.514	0.425	0.036	0.512
DO	-0.315	0.329	-0.213	1	0.951	-0.960	0.466	-0.286	-0.369	-0.363	-0.369	0.680	-0.018	-0.376	-0.376	0.107	0.164	0.202	-0.288	0.176
Sat	-0.187	0.261	-0.234	0.991	1	-0.998	0.521	-0.259	-0.456	-0.418	-0.425	0.674	-0.144	-0.429	-0.360	0.080	0.117	0.058	-0.251	0.106
AOU	0.192	-0.260	0.247	-0.992	-0.999	1	-0.535	0.270	0.450	0.415	0.422	-0.665	0.136	0.426	0.360	-0.107	-0.134	-0.075	0.245	-0.125
COD	-0.302	-0.138	-0.285	0.479	0.452	-0.453	1	0.164	-0.479	-0.461	-0.460	0.272	-0.131	-0.453	0.114	0.048	0.197	0.249	0.229	0.217
NH ₄	0.046	-0.433	-0.040	-0.208	-0.199	0.209	0.040	1	0.073	-0.010	-0.081	-0.130	-0.386	-0.082	0.651	-0.522	-0.454	-0.301	0.528	-0.431
NO ₂	0.208	-0.441	-0.062	-0.022	0.006	-0.003	0.084	0.270	1	0.882	0.887	-0.467	0.429	0.885	-0.136	0.181	-0.251	-0.174	-0.165	-0.244
NO ₃	-0.128	-0.639	-0.294	0.013	-0.009	0.005	0.631	0.529	0.342	1	1.000	-0.538	0.685	0.999	-0.161	0.069	-0.064	-0.084	-0.331	-0.073
DIN	-0.106	-0.654	-0.258	-0.032	-0.050	0.048	0.571	0.642	0.394	0.900	1	-0.541	0.677	1.000	-0.149	0.061	-0.074	-0.091	0.321	-0.083
DIP	0.159	-0.308	-0.006	0.112	0.140	-0.140	0.413	0.103	0.271	0.381	0.369	1	-0.238	-0.553	-0.155	-0.175	-0.078	0.128	0.122	-0.036
Si(OH) ₄	-0.152	-0.626	-0.275	0.004	-0.020	0.017	0.614	0.536	0.362	0.916	0.975	0.286	1	0.684	-0.244	-0.073	0.326	0.474	-0.512	0.366
N/P	-0.258	-0.061	-0.069	-0.029	0.251	-0.089	0.475	-0.135	0.261	0.257	0.257	0.647	0.296	1	-0.149	0.059	-0.064	-0.083	-0.322	-0.074
SS	-0.062	0.004	0.005	0.137	0.141	-0.132	0.495	-0.145	-0.046	0.229	0.270	0.309	0.233	-0.082	1	-0.147	0.022	0.202	-0.109	-0.044
Chl-a	0.137	-0.154	-0.249	0.230	0.261	-0.260	-0.247	0.243	0.514	-0.110	0.055	-0.202	0.456	0.235	-0.165	1	0.002	-0.084	0.315	0.287
Cent.	-0.190	-0.281	-0.384	0.027	0.002	-0.005	0.495	0.051	0.085	0.348	0.315	0.134	0.392	0.070	0.017	-0.026	1	0.202	0.155	0.991
Penn.	0.194	-0.292	-0.642	-0.154	-0.132	0.128	0.096	0.181	-0.261	0.090	0.078	-0.108	0.100	0.349	0.120	0.051	0.454	1	0.132	0.873
Flage.	-0.214	0.266	0.363	-0.254	-0.250	0.293	0.055	0.142	-0.250	0.050	0.045	-0.130	0.040	0.229	0.259	-0.306	-0.344	-0.076	1	0.164
Total	0.028	-0.313	-0.601	-0.124	-0.123	0.120	0.308	0.168	-0.173	0.233	0.209	-0.027	0.259	0.308	0.121	0.001	0.755	0.920	-0.110	1

Table 3. Correlation matrix on the analytical parameters for summer(upper) and autumn(lower)

	Temp	Sal	Transp	DO	Sat	AOU	COD	NH ₄	NO ₂	NO ₃	DIN	DIP	Si(OH) ₄	N/P	SS	Chl-a	Cent.	Penn.	Flage	Total
Temp	1	-0.850	-0.265	0.482	0.470	-0.487	0.277	-0.009	-0.084	0.198	0.184	-0.011	0.380	0.001		0.145	0.156	0.298	0.049	0.172
Sal	-0.060	1	0.213	-0.581	-0.572	0.587	-0.284	0.071	0.121	-0.197	-0.172	0.089	-0.625	-0.134		-0.239	-0.236	-0.354	-0.193	-0.256
Transp	0.689	-0.218	1	-0.559	-0.558	0.554	-0.376	-0.072	0.482	-0.066	-0.037	0.125	0.392	0.041		-0.564	-0.631	-0.634	0.243	-0.632
DO	0.398	-0.038	0.189	1	1.000	-0.998	0.569	-0.258	-0.436	0.372	0.234	0.183	-0.002	-0.008		0.651	0.640	0.676	0.168	0.660
Sat	0.111	0.173	0.050	0.193	1	-0.998	0.567	-0.262	-0.440	0.370	0.291	0.183	-0.007	-0.007		0.654	0.643	0.676	0.168	0.662
AOU	-0.421	0.077	-0.208	-0.999	-0.164	1	-0.572	0.265	0.425	-0.382	-0.303	-0.189	-0.005	0.003		-0.654	-0.627	-0.670	-0.170	-0.647
COD	-0.405	-0.076	-0.026	0.034	0.024	-0.024	1	-0.285	-0.145	0.568	0.498	0.554	-0.127	-0.225		0.531	0.236	0.308	0.326	0.252
NH ₄	0.275	-0.257	0.325	0.447	0.301	-0.448	0.181	1	0.389	-0.036	0.111	-0.023	-0.010	0.157		-0.259	-0.305	-0.304	-0.265	-0.317
NO ₂	0.270	0.085	0.325	0.458	-0.243	-0.482	-0.307	0.026	1	0.497	0.593	0.474	0.373	0.140		-0.274	-0.860	-0.761	0.196	0.855
NO ₃	0.367	-0.122	0.572	0.689	0.158	-0.693	-0.117	0.647	0.511	1	0.988	0.854	0.128	0.038		0.359	-0.316	-0.169	0.524	0.288
DIN	0.367	-0.123	0.572	0.690	0.158	-0.693	-0.116	0.650	0.510	1.000	1	0.848	0.149	0.065		0.296	-0.401	-0.252	0.492	-0.374
DIP	-0.118	0.474	0.229	-0.379	0.471	0.400	0.080	0.090	-0.342	0.005	0.005	1	-0.040	-0.303		0.291	-0.390	-0.283	0.515	-0.366
Si(OH) ₄	0.601	0.096	0.236	0.629	0.259	-0.635	-0.548	0.180	0.232	0.469	0.468	-0.207	1	0.149		-0.129	-0.337	-0.259	0.382	-0.322
N/P	0.371	-0.123	0.569	0.635	0.171	-0.699	-0.115	0.653	0.509	1.000	1.000	0.002	0.475	1		0.007	-0.116	-0.135	-0.030	-0.120
SS	-0.403	0.180	-0.680	0.168	0.072	-0.156	-0.220	-0.233	0.211	-0.228	-0.228	0.146	-0.225	1						
Chl-a	0.629	-0.138	0.054	0.494	0.298	-0.503	-0.445	0.547	0.099	0.399	0.401	-0.331	0.690	0.410	0.015	1	0.445	0.435	0.180	0.460
Cent.	-0.287	0.304	-0.165	0.033	0.366	-0.019	-0.074	0.170	0.344	0.257	0.258	0.367	-0.074	0.260	0.244	-0.051	1	0.869	-0.141	0.998
Penn.	-0.457	0.231	-0.752	0.011	0.142	0.010	-0.340	-0.033	-0.036	-0.121	-0.121	-0.028	0.077	-0.120	0.779	0.173	0.445	1	-0.200	0.890
Flage.	0.354	-0.017	0.479	0.698	0.202	-0.699	-0.169	0.690	0.496	0.984	0.984	0.065	0.494	0.983	-0.135	0.417	0.304	-0.018	1	-1.1327
Total	-0.295	0.283	-0.311	0.224	0.333	-0.204	-0.262	0.264	0.312	0.359	0.359	0.206	0.141	0.361	0.502	0.182	0.868	0.761	0.443	1

영양염류들과 약한 양의 상관을 나타내고 있어, 성장 쇠퇴기에 접어들어 있는 것으로 보여졌다. 가을 역시 영양염류 함과 모두 양의 상관을 AOU와 음의 상관을 보이고 있어, 성장 쇠퇴기에 있는 것으로 판단되었다. 전체 식물플랑크톤 세포수에 대해서는 4계절 모두 규조류와 강한 양의 상관을 나타내고 있어 연중 식물플랑크톤 현존량은 규조류에 의해 지배되고 있음을 보여주었다.²¹⁾ 여름을 제외하고는 모든 시점에 식물플랑크톤 출현 세포수와 Chl-a에 음의 상관이나 약한 양의 상관을 보이고 있어 거름수도의 Chl-a와 식물플랑크톤 현존량 사이에는 모순을 나타내고 있는데, 이는 식물플랑크톤 군집의 성장 말기인 쇠퇴기에 접어들어 생리활성이 떨어지고 있는 요인²⁷⁾과 거름수도 식물플랑크톤 군집은 일반 현미경으로 관찰이 어려운 초미소 플랑크톤인 picoplankton이나 nano-plankton에 의해 상당부분 점유되고 있기 때문에^{22,28-31)} 나타나는 현상으로 보여진다.

3.3. 주성분분석에 의한 식물플랑크톤 변동요인 해석

누적기여율은 70%로 하여 주성분분석을 실시한 결과 봄은 제4주성분까지, 기타의 계절은 제3주성분까지 도출

할 수 있었다. 그리고 계절에 따른 제1주성분의 기여율에서도 봄에 26.0%을 나타내고 있는 것을 제외하면 기타 계절은 35%전후의 값을 나타내고 있어, 제1주성분에 대한 집약 정도는 계절에 관계없이 거의 일정한 양상을 나타냈다(Table 4). 즉, 계절별로 계산된 주성분 식은

$$\text{겨울의 경우 } Z=6.83Z_1+4.44Z_2+2.86Z_3$$

$$\text{봄의 경우 } Z=5.20Z_1+3.88Z_2+2.70Z_3+2.33Z_4$$

$$\text{여름의 경우 } Z=7.12Z_1+4.69Z_2+2.24Z_3$$

$$\text{가을의 경우 } Z=7.35Z_1+3.72Z_2+2.60Z_3$$

로 나타내어 제1주성분에 대한 고유값이 7.0 전후, 제3주성분에 대한 고유값이 2.5 전후를 나타내어 비교적 양호한 종합적 특성치 도출이 이루어졌다.^{1,19)}

인자부하량의 분포도로부터 살펴본 계절별 거름수도의 해양환경특성과 식물플랑크톤 변동요인을 해석하면, 겨울은 제1주성분에 대해 수온, 질산염, DIN, N/P ratio, AOU와 강한 양의 관계, 투명도, DO, DIP, COD, 식물플랑크톤의 현존량과 음의 관계를 나타내어 제1주성분은 "유기물의 분해에 의한 무기화"를 표현하는 것으로 해석할 수 있었다. 제2주성분은 식물플랑크톤 현존량, DIN, 투명도, Chl-a와는 강한 양의 관계, SS, 암모니아염 등과

Table 4. Eigenvalue, proportion, accumulated proportion, eigenvector and loading factor by the principal component analysis(PCA) for four seasons

Principal Component	1st			2nd			3rd			4th			1st			2nd			3rd									
	Eigenvalue	Proportion(%)	Accumulative proportion(%)	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd							
Eigenvalue	6.83	34.16	34.16	5.20	3.88	2.70	2.33	7.12	4.69	2.24	7.35	3.72	2.60	36.74	18.58	13.00	36.74	55.32	68.32									
Proportion(%)																												
Accumulative proportion(%)																												
Parameter	Eigen vector			Loading Factor			Eigen vector			Loading factor			Eigen vector			Loading Factor			Eigen vector			Loading Factor						
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd				
Temp	0.288	-0.187	0.156	0.754	-0.384	0.263	0.009	-0.148	-0.020	-0.477	0.021	-0.292	-0.034	-0.729	0.172	0.120	0.425	0.458	0.260	0.636	0.204	-0.245	-0.169	0.553	-0.473	-0.272		
Salinity	-0.013	-0.080	-0.017	-0.034	-0.169	-0.028	-0.323	0.157	-0.049	0.324	-0.737	0.310	-0.080	0.495	-0.201	-0.131	-0.346	-0.536	-0.283	-0.758	-0.038	0.214	0.141	-0.103	0.412	0.227		
Transparency	-0.235	0.238	0.050	-0.615	0.544	0.084	-0.230	-0.080	0.358	0.172	-0.524	-0.177	0.589	0.263	-0.266	0.066	0.124	-0.709	0.142	0.186	0.192	-0.327	0.211	0.521	-0.630	0.340		
Dissolved Oxygen	-0.317	0.130	-0.190	-0.829	0.274	-0.321	-0.002	0.489	-0.055	0.033	-0.004	0.962	-0.091	0.051	0.347	0.117	0.048	0.926	0.254	0.072	0.301	0.041	-0.185	0.815	0.079	-0.238		
AOC	0.322	-0.081	0.206	0.840	-0.170	0.349	0.000	-0.485	0.062	0.031	0.001	-0.956	0.102	0.047	-0.345	-0.122	-0.051	-0.922	-0.265	-0.076	-0.303	-0.029	0.196	-0.822	-0.056	0.315		
Sat. of DO	-0.319	0.072	-0.214	-0.834	0.153	-0.361	-0.001	0.485	-0.059	-0.030	-0.003	0.955	-0.097	-0.047	0.347	0.116	0.042	0.925	0.250	0.064	0.080	0.148	0.219	0.243	0.286	0.352		
COD	-0.214	-0.083	0.105	-0.558	-0.175	0.177	0.275	0.280	0.029	0.230	0.628	0.552	0.048	0.351	0.216	0.234	-0.202	0.576	0.507	-0.302	-0.080	-0.130	0.234	-0.216	-0.250	0.378		
Ammonia	0.119	-0.349	0.041	0.310	-0.736	0.069	0.240	-0.169	0.135	0.007	0.548	-0.333	0.222	0.011	-0.130	0.015	0.081	-0.346	0.033	0.122	0.244	-0.027	0.173	0.661	-0.052	0.279		
Nitric	0.289	0.190	-0.151	0.755	0.401	-0.256	0.160	0.022	0.267	-0.353	0.365	0.043	0.438	-0.538	-0.250	0.290	0.061	-0.668	0.629	0.091	0.201	0.077	-0.113	0.546	0.149	-0.183		
Nitrate	0.291	0.274	-0.083	0.761	0.577	-0.158	0.399	0.013	0.198	0.102	0.910	0.026	0.326	0.156	0.057	0.434	-0.121	0.153	0.939	-0.180	0.349	-0.016	0.131	0.945	-0.030	0.211		
DIN	0.294	0.267	-0.084	0.769	0.563	-0.158	0.397	-0.013	0.220	0.085	0.906	-0.026	0.361	0.130	0.022	0.438	-0.100	0.058	0.948	-0.150	0.349	-0.016	0.131	0.946	-0.030	0.212		
DIP	-0.285	-0.053	-0.178	-0.744	-0.112	-0.301	0.157	0.145	0.246	-0.156	0.359	0.286	0.404	-0.238	-0.003	0.394	-0.300	-0.009	0.854	-0.449	-0.043	0.052	0.523	-0.117	0.100	0.843		
Silicate	0.118	0.373	0.078	0.307	0.785	0.132	0.400	0.004	0.175	0.107	0.911	0.008	0.288	0.163	-0.056	0.167	0.531	-0.150	0.362	0.794	0.244	0.041	-0.274	0.660	0.079	-0.441		
N/P ratio	0.296	0.268	-0.087	0.773	0.564	-0.147	0.105	-0.208	-0.153	0.280	0.240	-0.409	-0.252	0.427	-0.035	0.007	0.251	-0.083	0.014	0.376	0.350	-0.014	0.129	0.946	-0.027	0.208		
Suspended Solids	0.106	-0.313	0.160	0.276	-0.660	0.270	0.101	0.117	0.063	0.228	0.230	0.230	0.104	0.348	-0.044	0.082	-0.047	-0.293	0.100	0.161	-0.077	-0.447	0.256	0.123	-0.151	0.683	0.267	-0.225
Chlorophyll-a	-0.031	0.149	-0.165	-0.081	0.315	-0.280	0.044	0.082	-0.047	-0.293	0.100	0.161	-0.077	-0.447	0.256	0.123	-0.151	0.683	0.267	-0.225	0.224	0.033	-0.259	0.607	0.063	-0.417		
Centric diatoms	-0.122	0.235	0.448	-0.320	0.466	0.757	0.255	0.038	-0.281	0.034	0.582	0.074	-0.461	0.051	0.312	-0.225	-0.055	0.832	-0.486	-0.082	0.078	0.300	0.309	0.211	0.695	0.498		
Pennate diatoms	-0.126	0.226	0.420	-0.329	0.477	0.711	0.180	-0.120	-0.486	0.018	0.410	-0.236	-0.798	0.027	0.319	-0.163	-0.010	0.851	-0.353	-0.015	-0.030	0.475	-0.111	-0.082	0.916	-0.180		
Phytoplankton	-0.006	-0.234	0.330	-0.017	-0.492	0.558	-0.051	-0.149	0.176	0.428	-0.115	-0.294	0.290	0.653	0.021	0.286	0.015	0.055	0.620	0.023	0.348	0.042	0.132	0.942	0.082	0.213		
Total cell number	-0.127	0.239	0.460	-0.333	0.504	0.777	0.243	-0.084	-0.461	0.073	0.553	-0.165	-0.757	0.111	0.318	-0.212	-0.051	0.948	-0.459	-0.077	0.126	0.457	0.149	0.342	0.882	0.241		

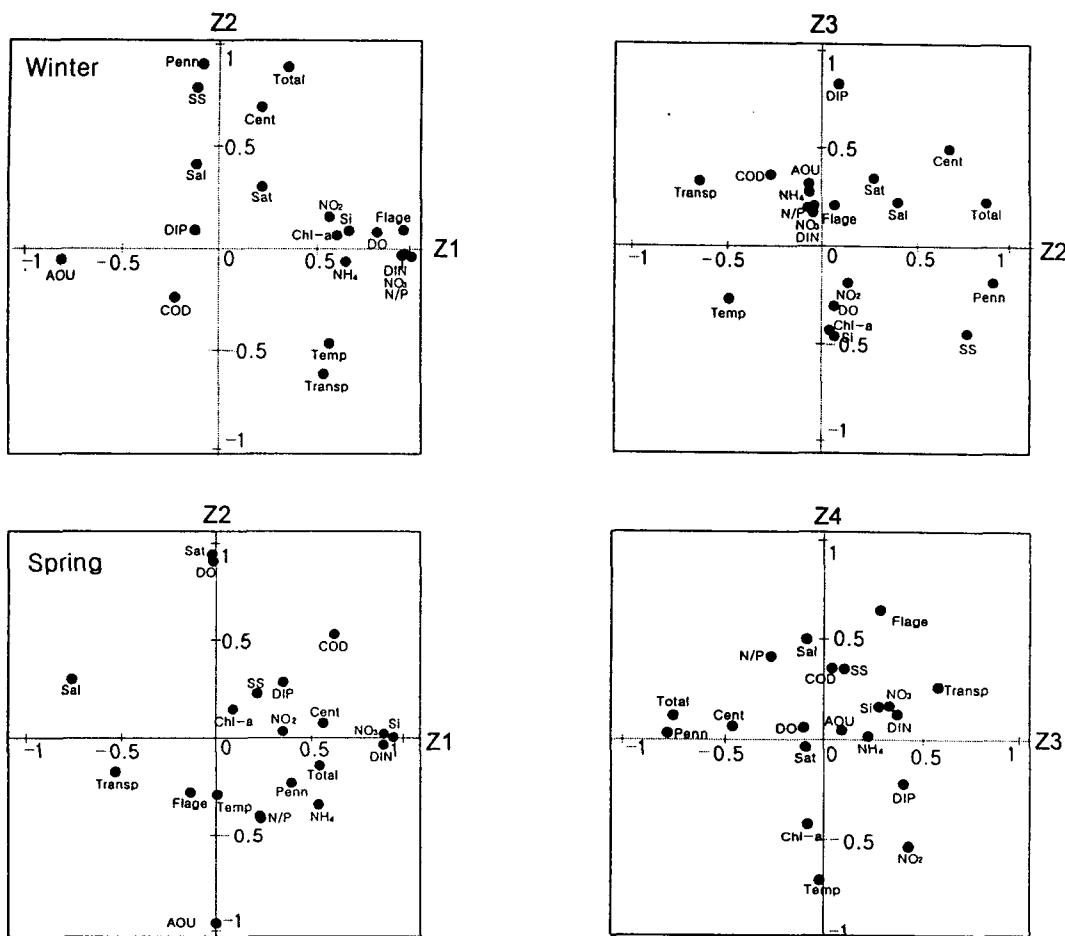


Fig. 2. Distributions of loading factor by PCA for winter(upper) and spring(lower).

음의 관계를 나타내어 제2주성분은 “충분한 광조건하에서 우선적인 암모니아의 흡수에 의한 식물플랑크톤의 생리활성”을 표현하는 것으로 해석할 수 있었다. 제3주성분은 식물플랑크톤 현존량, AOU, COD와 양의 관계, 각종 영양염류, 산소포화도, Chl-a와 음의 관계를 나타내어 제3주성분은 “이(易)분해성 유기물량”을 나타내는 것으로 해석할 수 있었다(Fig. 2, 상). 이와 같은 해석 결과, 겨울 거름수도는 유기물분해에 의해 질소원 영양염류의 공급이 이루어지고 있으며, 식물플랑크톤 성장에는 암모니아염을 최우선적으로 흡수³³⁾하고 있으나, 충분한 광조건이 식물플랑크톤 활성화에 매우 중요하다는 것³⁴⁾을 지적하고 있었다.

봄의 경우, 제1주성분은 각종 영양염류, COD, 규조류를 중심으로 한 식물플랑크톤 현존량과 강한 양의 관계, 투명도, 염분과 강한 음의 관계를 나타내어 제1주성분은 “풍부한 영양염류와 유기물을 포함한 육수유입”을 표현하는 것으로 해석할 수 있었다. 제2주성분은 산소포화도, COD, 염분, SS, DIP, Chl-a와 양의 관계, AOU, 플랑크톤 현존량, 수온, N/P ratio와 음의 관계를 나타내어 제2

주성분은 “조석혼합 등에 의한 유광층으로의 저층 해수 유입정도”를 표현하는 것으로 해석할 수 있었다. 제3주성분은 투명도, 각종 영양염류, 편모조류 현존량과 양의 관계, 전 식물플랑크톤 현존량, N/P ratio, Chl-a와 음의 관계를 나타내어 제3주성분은 “강한 광조건 요구성의 식물성 편모조류의 활성화”를 표현하는 것으로 해석할 수 있었다. 제4주성분은 편모조류를 포함한 식물플랑크톤의 현존량, 염분, SS, COD, N/P ratio, DIN와 양의 관계, 수온, Chl-a, DIP와 음의 관계를 나타내어, 제4주성분은 “입자성 유기물량”을 표현하는 것으로 해석할 수 있었다(Fig. 2, 하). 이로부터 봄철 거름수도는 육상으로부터 풍부한 영양염류와 다량의 유기물 공급에 의해 해역의 생산이 유지되고 있으며, 식물성편모조류의 성장에는 N/P ratio나 광조건에 의해, 규조류의 경우는 DIP량의 용존량에 의해 성장이 촉진되고 있는 것으로 보아졌다.

여름의 경우, 제1주성분은 수온, DO, Chl-a, 식물플랑크톤 현존량, COD, 수온과 양의 관계, 투명도, AOU, 염분, 암모니아, 아질산, N/P ratio와 음의 관계를 나타내어 제1주성분은 “저광도, 저염분 조건에서 암모니아를 주

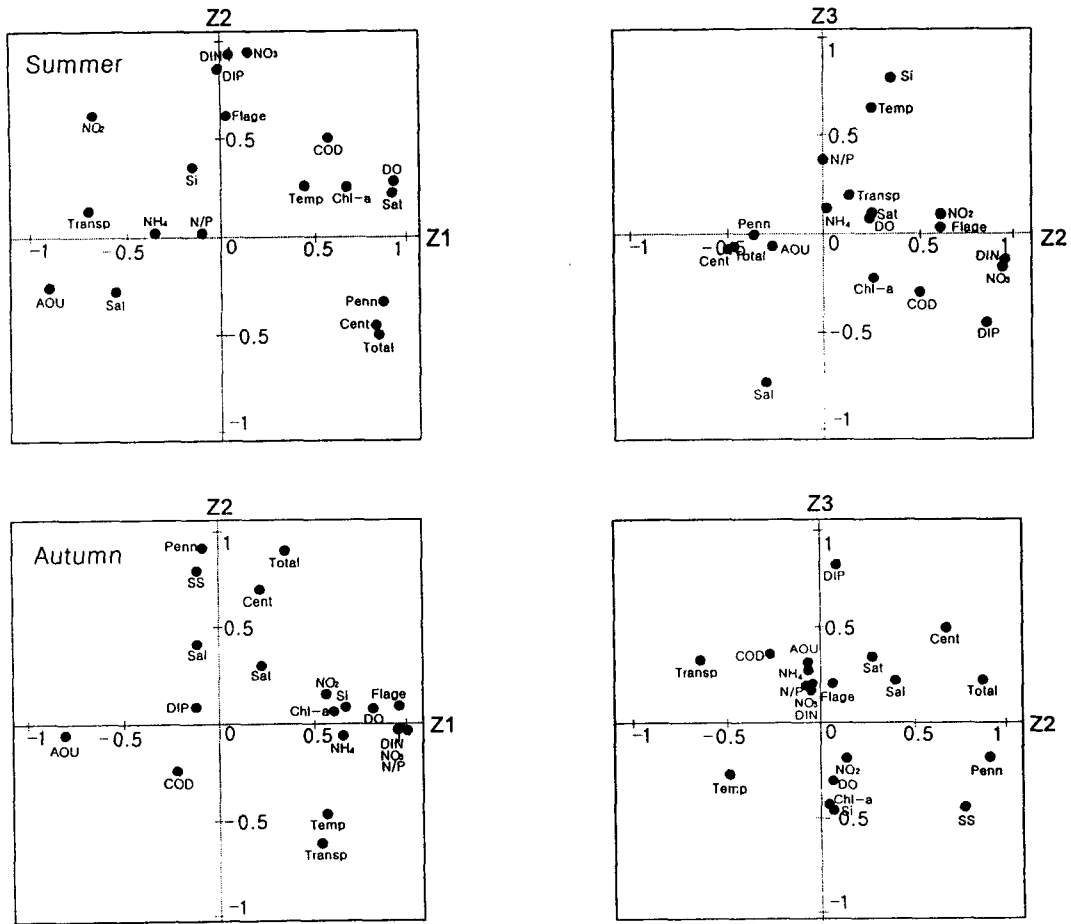


Fig. 3. Distributions of loading factor by PCA for summer(upper) and autumn(lower).

영양원으로 하는 식물플랑크톤의 활성화"를 표현하는 것으로 해석할 수 있었다. 제2주성분은 DIN, DIP, 편모조류 현존량, COD, Chl-a와 양의 관계, 규조류의 현존량, AOU, 염분과 음의 관계를 나타내어 제2주성분은 "이분해성 유기물량"을 표현하는 것으로 해석할 수 있었다. 제3주성분은 규산염, 수은, N/P ratio와 강한 양의 관계, 염분, DIP, COD, Chl-a, DIN, 중심목 규조류와 음의 관계를 나타내어, 제3주성분은 "담수유입과 규조류의 분해에 의한 규산염의 생성"을 표현하는 것으로 해석할 수 있다(Fig. 3, 상). 이로부터 여름철 거금수도는 유기물분해에 의해 각종 영양염류의 공급이 이루어지고 있으며, 식물플랑크톤 성장에는 암모니아염과 규산염의 용존량에 의해 지배될 수 있으며, 겨울과 봄과는 달리 강한 광조건이 식물플랑크톤 활성화에 저해요인으로 작용³⁵⁾하고 있음을 지적하고 있다.

가을의 경우, 제1주성분은 DIN, N/P ratio, 편모조류 현존량, 용존산소, Chl-a, 수온, 투명도, 중심목규조류 현존량과 양의 관계, AOU, COD, DIP와 음의 관계를 나타내어 제1주성분은 "유기물분해와 인산염 흡수에 의한 입

자성 식물플랑크톤의 생물량"을 표현하는 것으로 해석할 수 있었다. 제2주성분은 식물플랑크톤 현존량, SS, 염분과 강한 양의 관계, 투명도, 수온, COD와 음의 관계를 나타내어 제2주성분은 "외부 해수의 유입과 수층간 상하 혼합의 정도"를 표현하는 것³⁶⁾으로 해석할 수 있었다. 제3주성분은 DIP, COD, AOU, 투명도, 우상목을 제외한 식물플랑크톤 현존량, 산소포화도와 양의 관계, 규산염, SS, Chl-a, 수온, 용존산소와 음의 관계를 나타내어 제3주성분은 "성장 쇠퇴기에 접어든 식물플랑크톤 생물량"을 표현하는 것으로 해석할 수 있었다(Fig. 3, 하). 이로부터 가을철 거금수도는 유기물분해와 외부 해수의 유입에 의해 각종 영양염류의 공급이 이루어지고 있으며, 식물플랑크톤은 성장 쇠퇴기에 있는 것으로 판단되어 활성화 정도는 매우 약하고, 다만 일부 분포도로부터 생물량은 DIP에 의해 영향을 강하게 받고 있는 것으로 판단되었다.

이와 같은 계절별 주성분분석의 결과는 연안해역의 해양환경의 경우, 육상으로부터의 담수유입에 의해 크게 지배된다는 일반적인 내용^{9,19)}과는 다른 내용을 나타내고

있는 것으로서, 거금수도 영양염류의 공급원은 담수유입보다 유기물분해에 의한 무기화나 외부 해수의 유입에 의존하고 있는 것으로 보여졌으며, 식물플랑크톤 생물량의 변동 역시 단기적인 영양염류 변동에 의해 매우 단기적으로 변동하는 양상을 나타내었다.²²⁾ 특히 겨울과 봄에는 높은 부유물질 때문에 광량이 생물량 변동에 크게 작용하고 있는 것으로 나타났다.

3.4. 주성분 독점에 의한 해역구분 및 특징

계절별로 제1주성분과 제2주성분의 특징만을 이용하여 분포도를 작성하고, 해역적 특성을 고찰하면, 겨울철 거금수도는 크게 3개의 그룹으로 구분할 수 있다. 즉, I 그룹은 유기물 분해과정이 매우 활발하면서 생물 생리활성이 활발한 해역이며, II 그룹은 다소의 유기물 분해과정이 발생되면서 생물 생리활성이 떨어지는 해역, III 그룹은 유기물 분해과정은 없으면서 생물 생리활성이 다소 좋은 해역으로 나눌 수 있으며, 해역적으로 I 그룹은 거금도 북동 연안해역, II 그룹은 수로부, III 그룹은 풍남만 및 수로 북서의 천해해역에 해당하는 광활한 해역에 해당된다(Fig. 4, 상). 이로부터 겨울 유기물 분해는 주로

수심이 깊은 수로부에서 발생하고 있음을 알 수 있었고, 풍남만 등 수심의 얇은 해역에서 생물의 활성정도가 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

봄철 거금수도는 크게 3개의 그룹으로 구분할 수 있다. 즉, I 그룹은 육상으로부터 담수유입 조건이 양호하면서 수층간 혼합이 잘되고 있는 해역, II 그룹은 담수유입의 영향을 약하게 받으면서, 수층 혼합이 약한 해역, III 그룹은 담수유입의 영향이 적고, 수층간 혼합이 많은 해역으로 나눌 수 있으며, 해역적으로 I 그룹은 거금도 연안해역, II 그룹은 풍남만의 내만 해역, III 그룹은 수로부에 해당하는 광활한 해역에 해당된다(Fig. 4, 하). 즉, 이로부터 거금수도 내의 담수유입은 거금도 및 풍남만 연안을 통해 국소적으로 이루어지고 있으며, 풍남만 내만 해역은 해수 혼합이 원활하지 않음을 알 수 있었다.

여름철 거금수도는 크게 4개의 그룹으로 구분할 수 있다. 즉, I 그룹은 생물활성이 활발하면서 이분해성 유기물이 다량으로 존재하는 해역, II 그룹은 생물활성은 활발하나 유기물량이 적은 해역, III 그룹은 생물활성이 약하고 적은 양의 유기물이 존재하는 해역, IV 그룹은 약한 생물활성에 다소 높은 유기물량을 나타내는 해역으로

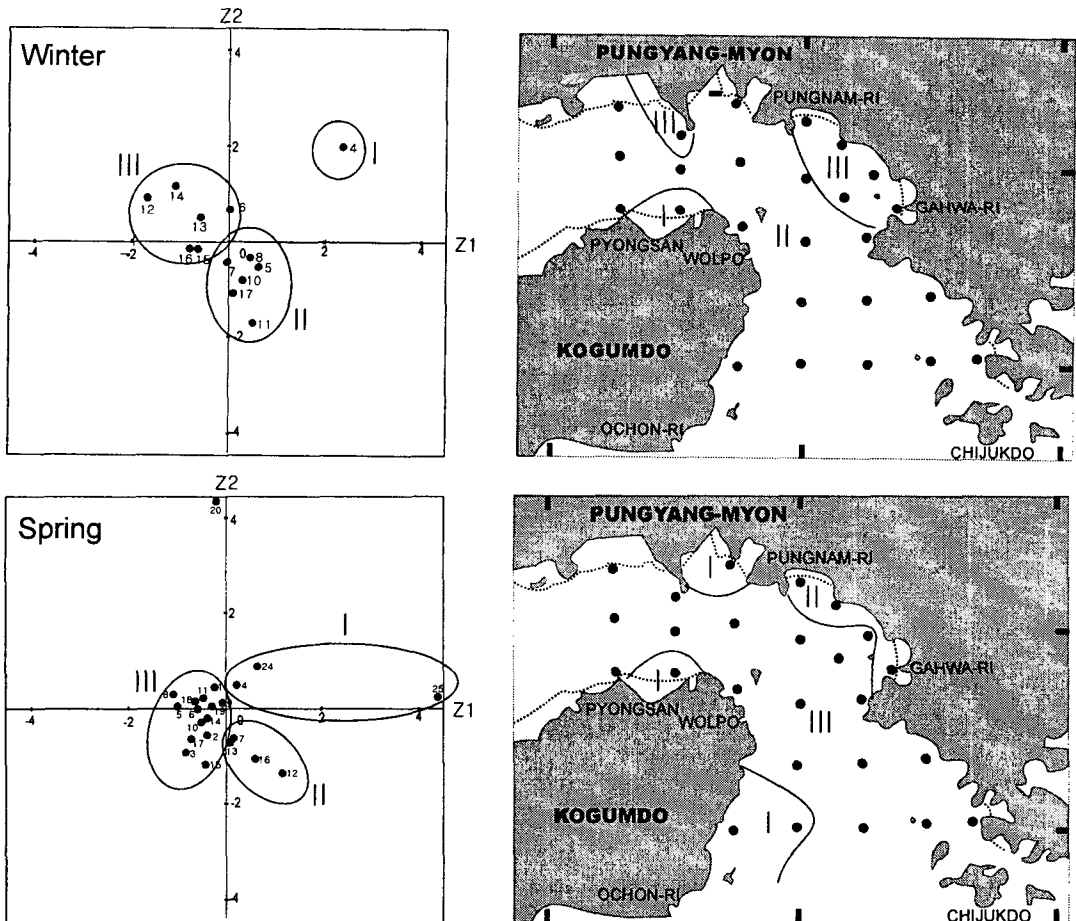


Fig. 4. Distributions of score by PCA(left) and separated regions(right) for winter(upper) and spring(lower).

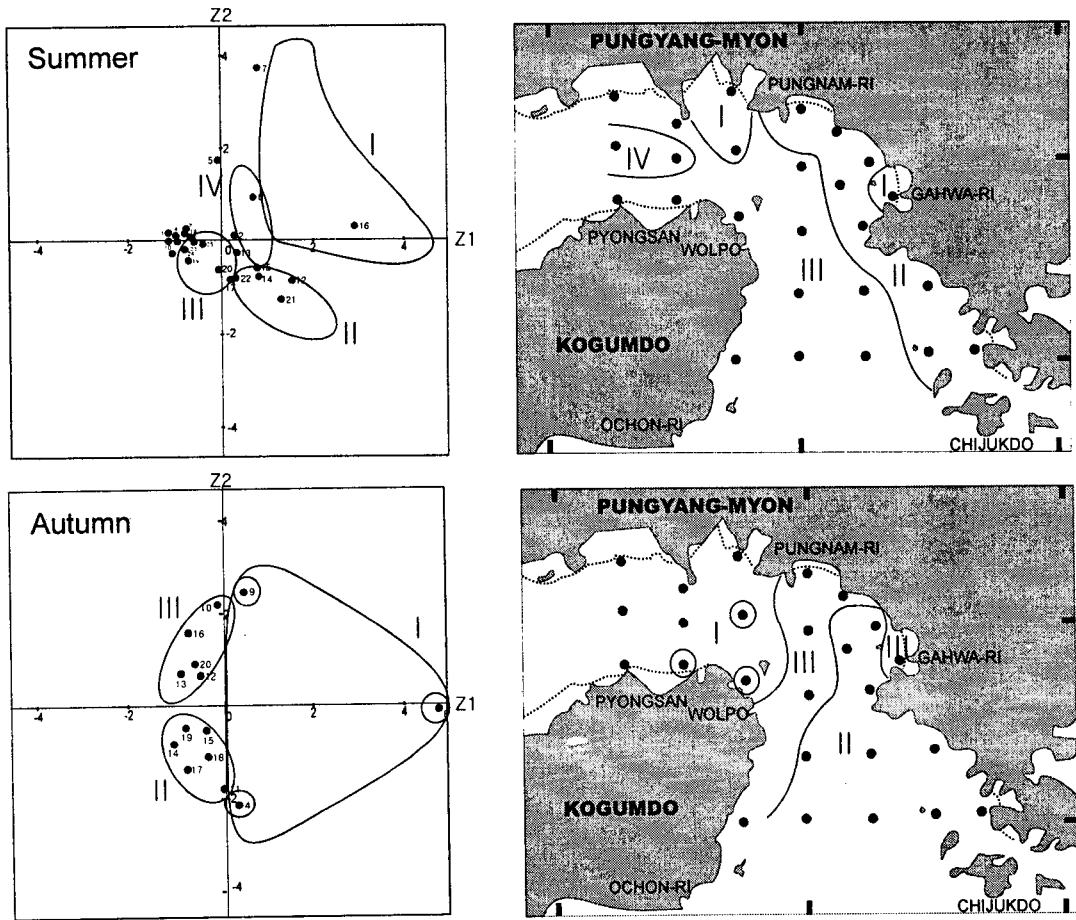


Fig. 5. Distributions of score by PCA(left) and separated regions(right) for summer(upper) and autumn(lower).

나눌 수 있으며, 해역적으로 I 그룹은 풍남리 서남쪽의 천해해역과 가화리 연안해역, II 그룹은 풍남만에서 남쪽 만입구부의 북동 연안해역, III 그룹은 수로 중앙부와 거금도를 접하는 수로부 해역, IV 그룹은 수로 서쪽의 깊은 수심을 나타내는 중앙해역에 해당된다(Fig. 5, 상). 이로 부터 여름철 유기물 유입은 주로 가공공장 등 육상으로부터의 유입에 의하고 있으며, 수도로 유입된 유기물은 굴 형태의 수심이 깊은 해역에 축적되고 있음을 알 수 있었다.

가을철 거금수도의 수질환경은 매우 복잡한 양상을 나타내고 있으나, 크게 3개의 그룹으로 구분할 수 있으나, I 그룹은 제차 3개의 소그룹으로 구분할 수 있었다. 즉, I-1 그룹은 식물플랑크톤 생물량이 높으면서 외해수 유입 정도가 약한 해역, I-2 그룹은 식물플랑크톤 생물량은 높지 않지만, 외해수 유입 정도가 매우 강한 해역, I-3 그룹은 식물플랑크톤 생물량도 높지 않지만, 외해수 유입 정도가 약한 해역, II 그룹은 식물플랑크톤 생물량도 낮고, 외해수 유입 정도도 약한 해역, III 그룹은 식물플랑크톤 생물량은 낮으나, 외해수 유입 정도가 비교적 활발한 해역으로 나눌 수 있으며, 해역적으로 I 그룹은

거금도 북쪽의 서쪽 수로에 해당하는 해역, II 그룹은 풍남만에서 수로 동남의 고흥반도 연안 해역을 포함하는 남쪽 수로의 대부분의 해역, III 그룹은 풍남리 인근에서 거금도 동쪽 해역에 거친 I 그룹과 III 그룹의 경계면적인 특성으로 수로 중앙부에 남북 방향의 띠 모양을 나타내는 해역에 해당된다(Fig. 5, 하).

4. 결 론

주성분분석에 의해 거금수도는 지속적으로 유입되는 하천 등의 결어로 육상으로부터의 영양염류 유입이 매우 적어, 수도내의 영양염류는 해조류 양식장 등에서 유입되어 많은 양으로 축적되어 있는 유기물²³⁾ 분해에 의한 재 순환 및 수도의 해수의 유입에 의존하는 비율이 큰 것으로 나타났다. 또한 식물플랑크톤의 생물량은 영양염류의 변동에 따라 매우 단기적으로 변동하는 양상을 나타내며, 겨울과 봄에는 높은 부유물질량에 의해 광량 조건이 생물량 변동에 크게 영향을 미치고 있으며, 영양염류 중에서는 암모니아염과 인산염이 식물플랑크톤 변동에 깊게 관여하는 것으로 나타났다. 그리고 계절에 따라 거금수도의 해양환경을 지배하는 요인은 다르게 나타나,

겨울은 수로부 등 수심이 깊은 곳에서 이루어지는 유기물 분해정도가 수도의 환경을 지배하고 있으며, 봄에는 연안에서 다량의 유기물과 영양염류를 포함한 담수의 유입량에 의해, 여름은 암모니염 등 영양염류의 용존량과 기초생물의 활성도에 의해, 가을은 유기물 분해와 외부해수의 유입에 의한 인산염의 공급에 의해 해양환경이 지배되고 있는 것으로 나타났다. 득점분포도 역시 계절에 따라 다소 차이는 있으나, 크게는 수로부와 풍납만 및 거금도 연안해역으로 구분되어, 수로부는 해수혼합과 유기물축적에 의한 분해가 이루어지는 특성을, 연안 천해해역은 비교적 담수영향을 높게 받으며, 높은 생물량과 생물활성을 나타내는 특성을 표현하고 있었다.

감사의 글

본 연구의 일부는 1992년 전라남도가 시행한 “어장의 입체적 이용을 위한 어장환경조사와 복합이용 방안”에 대한 조사연구비에 의해 이루어진 내용으로서 연구의 기회를 제공해준 전라남도과 관계자 여러분께 감사를 표한다. 그리고 원고의 세심한 교람을 해주신 익명의 심사위원에게도 감사의 뜻을 표하며, 현장조사에 도움을 준 풍납리 어촌계 관계자들과 여수(수산)대학교 해양학과 부유생물생태학연구실 소속, 김성아, 김남동, 정성희, 문경원, 오석진 군 등에게도 고마움을 전한다

참고 문헌

- 1) 有馬哲, 石村貞夫, 1987, 多變量解析のはなし. 東京圖書, 東京, 320pp.
- 2) 廣崎昭太, 謝訪隆之, 1973, 河川・用水の水質汚濁と都市化との關係についての多變量解析, 數理科學, 11(3), 44~50.
- 3) 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, 91~95.
- 4) 大内晟, 高山晴義, 1981, 主成分分析法による赤潮圖について, 日本水産學會誌, 47, 1275~1279.
- 5) 大内 晟, 1982, 廣島灣奥部における赤潮豫報研究の現状. 沿岸海洋研究ノート, 20(1), 33~42.
- 6) 吉見洋, 岡敏一, 井口潔, 關野廣子, 1982, 相模川水系の水質解析について, 水質汚濁研究, 5, 193~200.
- 7) 星野洋右, 佐藤昭三郎, 板井正, 吉田多摩夫, 1984, 主成分分析を用いた新設ダム湖の水質解析, 水質汚濁研究, 7, 561~569.
- 8) 太田立男, 嶋健一, 高柳俊博, 1986, 主成分分析法による三河灣海況分析, 用水と廢水, 28, 1118~1121.
- 9) 周東健三 外, 1986, 大阪灣の海洋環境, 海と空, 62, 89~107.
- 10) 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, 213~252.
- 11) 이홍재, 이형진, 한진석, 권숙표, 1991, 주성분분석에 의한 인천연안수질의 평가, 한국수질보전학회지, 7, 9~19.
- 12) 윤양호, 박정미, 1992, 저수온기 광양만 유기오탁 현

- 상에 대하여, 여수수산대학 수산과학연구소 연구보고, 1, 55~67.
- 13) 신성교, 박정길, 송교욱, 1998, 주성분분석법을 이용한 낙동강 하구해역의 수질 평가, 한국환경과학회지, 7(2), 171~176
- 14) 김종구, 1998, 다변량 해석기법에 의한 금강 하구역의 수질평가. 한국환경과학회지, 7(5), 591~598
- 15) Allen, T. F. H. and J. F. Koonce, 1973, Multivariate approaches to algal stratagems and tactics in systems analysis of phytoplankton. Ecology, 54, 1234~1246.
- 16) Holligan, P. M. and D. S. Harbour, 1977, The vertical distribution and succession of phytoplankton in the western English channel in 1975 and 1976. J. mar. biol. Ass. U. K., 57, 1075~1093.
- 17) Murakami, K. and I. Hirayama, 1987, Multivariate analysis of water quality and redtide in coastal region, Specialised Conference on Coastal and Estuarine Pollution, 19~21.
- 18) Sullivan, M. J. and C. A. Moncreiff, 1988, A multivariate analysis of diatom community structure and distribution in a Mississippi salt marsh, Bot. Mar., 31, 93~99.
- 19) 尹良湖, 1989, 瀬戸内海における植物プランクトン、特に赤潮生物の増殖に及ぼす環境特性, 廣島大學大學院 生物圏科學研究科 博士學位論文, 361pp.
- 20) 윤양호, 1992, 다변량해석에 의한 여수연안해역 식물플랑크톤 군집의 변동특성, 한국수질보전학회지, 8(3), 141~149.
- 21) 윤양호, 고남표, 1995, 거금수도내 양식어장의 해양환경특성 1. 식물플랑크톤 군집의 계절변동, 한국양식학회지, 8(1), 47~58.
- 22) 윤양호, 박종식, 고남표, 2000, 거금수도 양식어장의 해양환경 특성 2. 수질과 염류소량의 변동 특성, 한국양식학회지, 13(1), 인쇄중.
- 23) 윤양호, 고남표, 2000, 거금수도 양식어장의 해양환경 특성 3. 표층퇴적물 중의 유기물량 분포특성, 한국양식학회지, 투고중.
- 24) Lee, B.-G. 1994, A study of physical oceanographic characteristics of Deukryang Bay using numerical and analytical model in summer, Ph.D thesis, Nat'l Fish. Univ. Pusan, 145pp.
- 25) 추효상, 이규형, 윤양호, 1997, 거금수로 해역의 수온과 염분의 변동, 한국수산학회지, 30(2), 252~263.
- 26) 양한섭, 김성수, 김규범, 1995, 득량만 표층수중 영양염류의 시공간적 분포특성 1, 영양염류의 계절변화와 기초생산 제한인자, 한국수산학회지, 28(4), 475~488.
- 27) Fogg, G. E. and B. Thake, 1987, Algal cultures and phytoplankton ecology(3th ed.), The University of Wisconsin Press, Wisconsin, 269pp.
- 28) Larsson, U. and A. Hagstrom, 1982, Fractionated

- phytoplankton primary production in Baltic eutrophication gradient, *Marine Biology*, 67, 57~70.
- 29) Maita, Y. and T. Odate, 1988, Seasonal change in size-fractionated primary production and nutrient concentrations in the temperate neritic water of Funka Bay, Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 44, 268~279.
- 30) 심재형, 여환구, 박종규, 1992, 한국 동해 남부해역의 일차생산계 1, 생물량과 생산력, *한국해양학회지*, 27, 91~100.
- 31) Yamaguchi, M. and I. Imai, 1996, Size fractionated phytoplankton biomass and primary productivity in Osaka Bay, Eastern Seto Inland Sea, Japan. *Bull. Nansei Nat'l Fish. Res. Inst.*, 29, 59~73.
- 32) 畑幸彦, 1990, 堆積物. in "渡邊 競 編, 海面養殖と養魚場環境. 恒星社厚生閣, 東京", 51~68.
- 33) Bates, S. S., 1976, Effects of light and ammonium on nitrate uptake by two species of estuarine phytoplankton. *Limnology and Oceanography*, 21(2), 212~218.
- 34) Hitchcock, G. L. and T. J. Smayda, 1977, The important of light in the initiation of 1972~1973 winter-spring diatom bloom in Narragansett Bay, *Limnology and Oceanography* 22, 126~131.
- 35) Lalli, C. M. and T. R. Parsons, 1993, *Biological Oceanography -An introduction-*, Pergamon Press, Oxford, 301pp.