

부산 및 진해 연근해에 출현하는 동물플랑크톤 오염지표종 개발에 대한 연구

장민철¹⁾, 노일²⁾

The Study on the Development of Zooplankton Indicator Species for Water Quality in the Coastal Waters of Pusan Harbor and Jinhae Bay, Korea

Min-Chul Jang, Il Nho

Abstract

The present study was carried out to investigate the relationships between zooplankton and physico-chemical parameters of each study area as a part of fundamental work for biological water quality estimation.

Sampling of seawater for analysis of physico-chemical parameters as well as zooplankton sampling were made at the study sites; ¹⁾in Pusan Harbor and Suyong Bay on December of 1994, ²⁾in Pusan Harbor on April of 1995, and ³⁾in Jinhae Bay on May and October of 1995.

To clarify the relationships between zooplankton and physico-chemical parameters, statistical methods(correlation analysis, factor analysis, stepwise multiple regression analysis) were performed on the physico-chemical parameters and the major species of zooplankton.

From the results of statistical analyses, the abundance of *Acartia omorii* was highly correlated with the distribution of chemical oxygen demand(COD), which has generally been as a chemical barometer for water quality estimation, in the study area except in Jinhae Bay on October of 1995, and also it was positively correlated with nutrient salts concentrations in the study areas. Accordingly, COD and nutrient salt were shown as the most important parameters which have influenced on the distribution of *Acartia omorii* in the study areas.

Consequently, it would be suggested that *Acartia omorii* is offered as a biological indicator species for water quality in the coastal waters of Pusan Harbor and Jinhae Bay, Korea.

1) 한국해양대학교 해양공학과 석사과정 해양환경 전공
2) 한국해양대학교 해양공학과 교수

1. 서 론

해양의 수질오염정도를 파악하는 방법으로, 물리·화학적 방법과 지표생물을 이용한 생물학적 방법으로 나눌 수 있다. 이 가운데 물리·화학적 방법은 간단한 장비로 측정이 가능하고, 단 시간 내에 조사해역에 대한 물리·화학적 성질을 파악할 수 있어 현재 가장 널리 이용되고는 있으나, 시간적·공간적으로 한계성을 갖는 단점이 있어, 환경의 변화가 심하고 환경요인 간의 복잡한 상호작용이 빈번한 실제 해양환경에 적용하기에는 많은 문제점이 있다. 한 예로, 과도하게 부영양화된 해역에서는 일반적으로 식물플랑크톤의 대번성이 종종 일어나는데 이 경우, 식물플랑크톤의 왕성한 광합성 활동으로 인하여 표층에서의 용존산소 농도는 증가하는 동시에 가용성 영양염은 고갈되는 현상이 나타나며 또한, 미생물의 분해활동으로 인하여 현탁유기물량은 감소하는 경향을 보인다(서, 1985 국, 1990). 이 경우 물리·화학적으로만 수질을 분석할 경우, 실제와는 정반대의 수질상태로 평가하는 오류를 범할 수 있다. 그러므로 이러한 경우에는 그 해역의 물리·화학적 특성과 생물학적 특성을 함께 고려해야만 정확한 평가를 내릴 수 있다. 또한, 지표생물을 이용한 수질 평가 방법은 환경충격 등 과거의 해양오염 상태를 추적하거나, 물리·화학적 방법으로 분석이 어려운 오염물질의 영향을 조사하는 일 등에 유용하게 사용될 수 있다.

본 논문은 지금까지 이화학적 환경요소들에 의해 해양수질을 평가하는 물리·화학적 수질평가 기법을 보완하는 한 방편으로, 조사해역의 생물학적 수질평가기법의 도입을 위한 기초 자료축적에 그 목적이 있으며, 특히 부산연안 및 진해만을 중심으로 동물플랑크톤의 종조성 및 분포량을 조사한 후, 이를 조사해역에서의 제반환경요인과의 상호연관성을 규명하고 오염지표종으로서 가치가 있는 동물플랑크톤을 찾아내고자 시도하였다.

2. 조사내용 및 방법

2-1. 조사해역 및 조사시기

부산연안과 진해만에서 총 4차례에 걸쳐 동물플랑크톤과 환경요인과의 상관관계에 대한 조사를 하였다.

- 1) 1994년 12월, 부산항의 북항과 남항의 14개 정점
및 수영만의 4개 정점
- 2) 1995년 4월, 부산항의 북항의 총 9개 정점
- 3) 1995년 5월과 10월, 진해만내의 행암만의 7개 정점
및 마산만의 5개 정점에서,
동물플랑크톤 및 이화학적 환경요인을 분석하였다(Fig. 1)

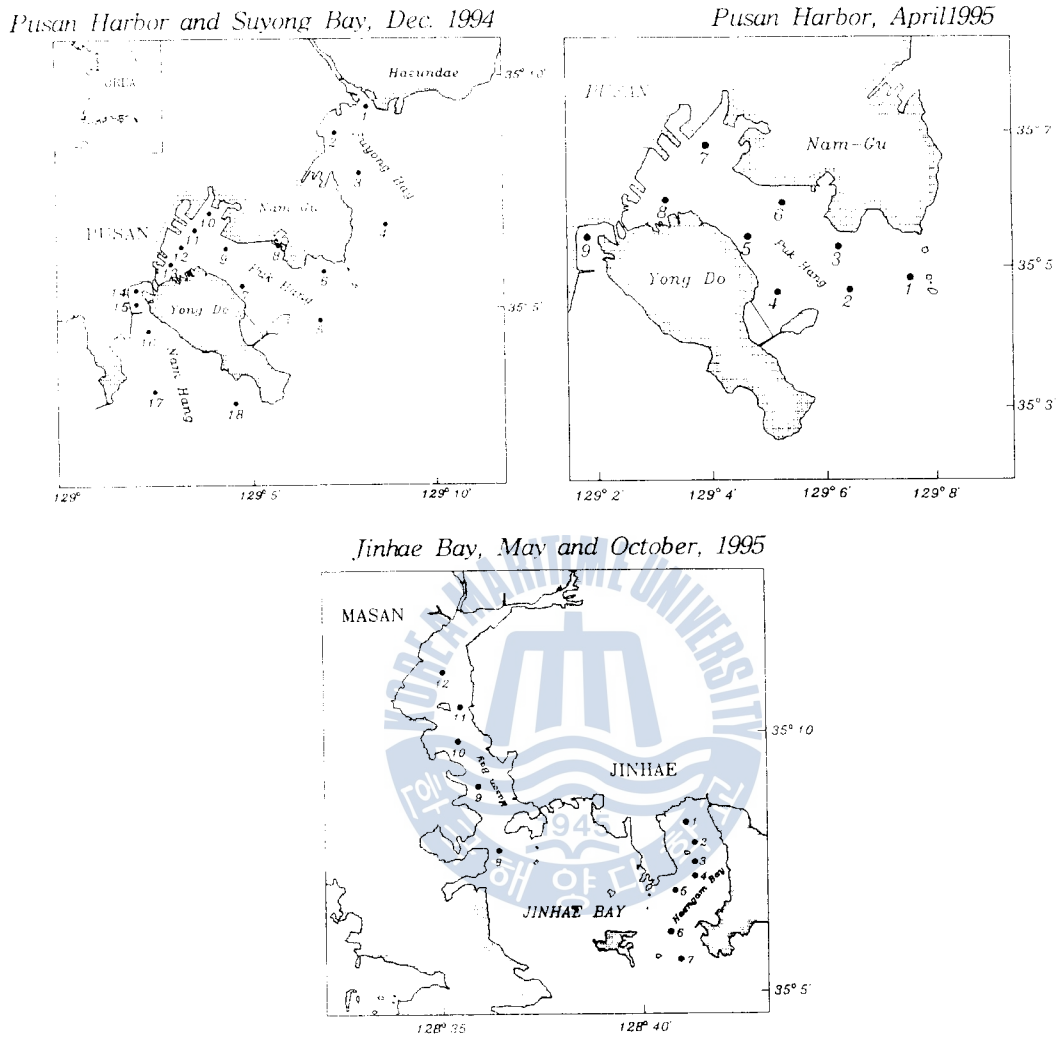


Fig. 1. Study sites of zooplankton and physico-chemical parameters.

2-2. 분석항목 및 분석방법

1) 환경요인

수온 및 염분, pH, DO, 투명도는 현장에서 측정하였으며, 부유물질, 화학적산소요구량(COD), 엽록소-a, 영양염류를 위한 해수시료는 van Dorn 채수기와 Nansen 채수기를 사용하여 채수하였고, 채수된 시료는 각 수질항목에 적절한 방법(환, 1991)을 사용하여 분석전까지 보존하였다.

가) 수온 및 염분

T-S bridge(Hydro-Bios Inc., Type MC5)를 사용하여 현장에서 직접 측정하였다.

나) pH

Digital pH meter(SUNTEX TS-1)로 현장에서 측정하였다.

다) 용존산소

Yellow Springs Instrument Co.의 DO meter(YSI MODEL 51B)로 현장에서 측정 하였다.

라) 투명도

Secchi disc(직경 30cm, 흰색 원판)를 사용하여 현장에서 측정하였다.

마) 부유물질, 화학적 산소요구량, 엽록소-a, 영양염류(NO₂-N, NO₃-N, NH₃-N, PO₄-P)
수질오염공정시험방법(환, 1991)에 의거하여 구하였다.

2) 동물플랑크톤

동물플랑크톤은 NORPAC net(구경 45cm, 망목 333 μ m)로 저층에서 표층까지 경사채집하였다. 채집된 동물플랑크톤은 선상에서 5% 중성포르말린으로 고정시킨 후, 실험실에서 Box splitter를 사용하여 일정량을 Bogorov 계수판에 옮겨 해부현미경과 광학현미경을 이용하여 동정 및 계수하였으며, 요각류와 지각류, 모악류, 미충류는 종까지 동정하였고 그의 동물플랑크톤은 대분류하였다. 정량적인 표시는 분류군별로 단위체적당 개체수(individuals/m³)로 환산하였다.

3. 결과

3-1. 환경요인

각 조사해역의 환경요인의 결과는 Table 1-4에 나타나 있다.

Table 1. Physico-chemical characteristics of water samples from each study site in the Pusan Harbor and Suyong Bay, December 1994.

Items		Temp.	Sal.	pH	SS	COD	Trans.	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	NH ₃ -N
St. Layers		(°C)	(‰)		(mg/ℓ)	(mg/ℓ)	(m)	(μg/ℓ)	(μg/ℓ)	(μg/ℓ)	(μg/ℓ)
1	S*	15.0	32.2	7.8	12	3.9	2.7	24.88	1085.85	18.39	939.40
	B*	15.0	32.9	8.1	16	6.1		6.10	1042.55	36.97	127.27
2	S	15.0	33.0	8.1	13	4.5	4.0	4.15	565.96	46.26	87.88
	B	15.1	32.8	8.1	24	4.8		19.77	1106.38	14.68	515.15
3	S	15.1	32.8	8.1	14	3.3	3.5	13.66	774.47	3.53	45.46
	B	14.9	33.0	8.1	13	4.0		10.24	812.77	1.67	1.21
4	S	15.4	32.6	8.0	15	1.6	3.5	8.05	782.98	20.25	81.82
	B	15.4	33.2	8.0	12	3.3		1.46	1157.45	33.25	48.49
5	S	13.6	35.4	8.2	16	5.5	2.0	5.61	761.70	61.12	0.81
	B	13.6	35.4	8.2	20	2.9		8.54	1229.79	33.25	0.40

Table 1. Continued.

6	S	14.0	33.2	8.2	13	4.1	3.5	11.46	863.83	27.68	424.24
	B	13.8	32.9	8.2	19	5.1		6.59	970.21	7.24	336.36
7	S	14.1	32.9	8.0	15	10.5	1.3	16.34	1051.06	46.26	1003.03
	B	14.4	32.7	8.1	15	6.8		14.39	996.75	62.98	1018.18
8	S	13.8	32.6	8.0	13	4.7	2.5	10.0	961.70	20.25	472.73
	B	14.4	32.7	8.1	16	5.1		8.54	876.60	27.68	436.37
9	S	13.8	32.7	8.1	22	4.0	1.5	12.64	1038.30	3.53	1063.64
	B	14.0	32.6	8.1	11	11.9		8.29	931.92	1.67	630.30
10	S	13.7	31.7	7.7	15	4.3	1.5	67.32	1991.49	161.43	2057.58
	B	13.7	32.3	8.0	10	10.4		15.37	834.04	23.97	484.85
11	S	13.8	32.2	8.0	15	10.5	1.7	20.49	914.89	12.82	290.91
	B	13.9	32.4	8.0	19	6.1		14.15	876.60	1.67	96.97
12	S*	13.9	32.2	7.9	18	7.3	3.2	20.0	927.66	150.28	509.09
	B*	13.8	32.2	8.0	18	9.2		17.07	838.30	16.54	248.49
13	S	14.0	32.2	8.0	15	9.6	3.3	20.24	982.98	35.11	303.03
	B	13.9	32.4	8.0	14	4.7		15.12	1276.60	18.39	409.09
14	S	14.4	32.1	8.0	18	5.0	2.8	13.42	642.55	1.17	27.27
	B	14.6	32.3	8.1	21	6.4		17.32	1417.02	167.00	3.03
15	S	14.4	32.1	8.0	15	8.3	2.5	8.78	714.894	35.11	800.0
	B	14.6	32.2	8.1	15	4.9		13.42	1110.64	22.11	366.68
16	S	10.8	35.3	8.2	13	6.7	4.5	12.20	965.96	7.11	12.12
	B	10.8	35.4	8.2	18	2.9		6.59	731.92	22.11	2.22
17	S	11.9	35.4	8.2	14	4.7	4.0	7.56	761.70	7.25	0
	B	12.1	35.5	8.2	14	2.1		11.71	761.70	1.67	87.88
18	S	13.5	34.3	8.2	18	3.7	3.5	11.22	872.34	1.51	0.40
	B	13.5	34.4	8.2	17	3.1		9.51	1127.66	1.67	54.55

*S represents surface, B represents bottom.

Table 2. Physico-chemical characteristics of water samples from each study site in the Pusan Harbor, April 1995.

Items		Temp.	Sal.	pH	DO	SS	COD	Chl.-a	Trans.	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	NH ₃ -N
St.Layers		(°C)	(‰)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(μg/l)	(m)	(μg/l)	(μg/l)	(μg/l)	(μg/l)
1	S*	15.1	32.4	8.1	7.9	23	1.6	0.38	4.5	0.73	787.23	14.68	193.94
	B*	14.0	33.0	8.2	7.7	25	2.1	0.47		0.98	808.51	1096	615.15
2	S	15.8	32.1	8.1	7.6	29	2.5	3.07	3.0	0.24	757.45	12.82	872.73
	B	13.8	32.6	8.2	7.6	25	2.4	0.27		2.20	774.47	25.83	657.58
3	S	13.5	32.2	8.1	8.0	21	2.1	0.39	3.0	4.39	621.28	25.82	972.73
	B	15.0	32.0	8.1	8.1	28	1.9	0.14		3.66	748.94	70.41	969.70
4	S	13.5	32.1	8.0	7.0	27	4.9	0.37	2.5	6.59	710.64	31.40	1219.18
	B	12.0	32.1	8.1	4.8	27	2.7	0.14		3.66	455.32	70.41	1060.61

Table 2. *Continued.*

5	S	14.0	31.7	8.1	9.2	25	3.7	0.37	2.4	2.94	774.47	5.40	969.70
	B	14.0	31.7	8.1	8.6	30	2.5	0.16		1.71	821.28	29.54	1309.09
6	S	14.0	32.4	8.0	7.8	30	3.9	0.51	3.0	2.94	629.79	74.12	1109.09
	B	14.5	32.4	8.1	7.6	34	4.3	0.22		8.04	782.98	31.40	645.46
7	S	13.2	32.0	8.0	7.8	30	3.5	0.69	1.5	9.27	868.09	29.54	2194.95
	B	14.0	32.0	8.1	8.5	67	4.7	0.43		13.66	1178.72	59.26	1109.09
8	S	14.0	32.2	8.0	9.2	30	4.8	0.30	2.0	7.56	680.85	12.82	1624.25
	B	14.0	32.0	8.0	8.4	30	5.1	1.43		10.49	978.72	51.83	1009.09
9	S	14.0	30.0	8.1	8.0	23	4.8	0.52	3.0	4.15	868.09	59.26	1454.55
	B	14.0	31.9	8.1	7.6	24	3.9	0.23		5.12	825.53	12.82	1266.67

*S represents surface, B represents bottom.

Table 3. Physico-chemical characteristics of water samples from each study site in the Jinhae Bay, May 1995.

St. Layers	Items	Temp. (°C)	Sal. (%)	pH	DO (mg/l)	SS (mg/l)	COD (mg/l)	Chl.-a (µg/l)	Trans. (m)	NO ₂ -N (µg/l)	NO ₃ -N (µg/l)	PO ₄ -P (µg/l)	NH ₃ -N (µg/l)
1	S*	20.5	34.35	8.9	9.6	68	13.5	77.92	1.0	0.07	1029.79	49.97	375.76
	B*	18.4	34.80	8.1	5.1	22	9.6	5.26		0.12	672.34	40.68	527.27
2	S	20.4	34.45	9.0	9.5	92	18.7	70.89	1.0	0.24	1000.0	101.98	145.46
	B	18.1	34.80	8.8	5.2	36	10.7	57.44		0.02	1438.30	48.11	293.93
3	S	20.0	34.45	8.9	8.9	64	16.0	85.63	1.1	0.17	991.49	40.68	633.34
	B	17.7	34.82	8.6	3.7	68	10.4	59.18		0.24	753.19	40.68	2396.98
4	S	20.0	34.50	8.8	7.5	68	17.0	58.13	1.5	0.22	1136.17	178.15	272.73
	B	17.5	34.90	8.2	3.7	34	11.5	2.15		0.03	591.49	7.25	615.15
5	S	20.1	34.50	8.9	7.9	64	15.9	73.38	1.5	1.96	906.38	3.53	415.15
	B	18.0	34.90	8.4	5.0	34	5.3	3.98		0.02	753.19	5.39	775.76
6	S	19.1	34.68	8.7	5.2	36	9.3	28.21	2.0	0.73	744.68	9.10	527.27
	B	18.0	34.85	8.4	5.6	18	6.1	7.48		0.13	634.04	5.39	445.46
7	S	18.6	34.68	8.7	5.1	44	9.5	41.29	2.2	0.14	617.02	3.53	612.12
	B	17.7	34.95	8.4	5.2	24	7.7	3.98		0.17	727.66	12.82	736.37
8	S	18.5	33.39	8.7	8.8	36	7.5	72.57	2.0	5.37	931.92	44.40	296.97
	B	16.9	34.90	8.3	6.1	40	5.2	6.55		0.05	591.49	0.84	412.12
9	S	18.8	33.37	8.7	8.8	36	11.5	107.31	2.0	8.29	906.38	16.53	269.70
	B	17.1	34.85	8.2	6.7	24	9.9	1.90		0.06	676.60	3.53	472.73
10	S	18.6	33.32	8.7	10.0	44	14.5	123.57	1.3	9.76	1153.19	44.40	621.21
	B	16.5	34.75	8.2	6.0	36	11.1	1.45		0.98	714.89	9.10	524.24
11	S	18.5	33.49	8.6	9.4	26	12.0	139.28	1.1	0.19	1246.81	9.10	336.36
	B	16.5	34.67	8.2	5.6	44	11.6	4.99		0.12	676.60	27.68	957.58
12	S	18.6	32.40	8.7	12.8	68	14.1	169.69	1.0	32.93	1553.19	5.39	1363.64
	B	16.8	34.50	8.1	6.0	34	8.9	5.77		1.46	778.72	16.53	1118.18

*S represents surface, B represents bottom.

Table 4. Physico-chemical characteristics of water samples from each study site in Jinhae Bay, October 1995.

Items	Temp.	Sal.	pH	DO	SS	COD	Chl.-a	Trans.	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	NH ₃ -N	
St. Layers	(°C)	(‰)		(mg/ℓ)	(mg/ℓ)	(mg/ℓ)	(μg/ℓ)	(m)	(μg/ℓ)	(μg/ℓ)	(μg/ℓ)	(μg/ℓ)	
1	S*	21.0	32.75	8.1	9.3	28	9.2	16.31	2.1	11.21	857.57	27.68	342.43
	B*	20.6	33.02	7.9	9.0	19	9.6	13.36		7.81	842.55	27.68	345.46
2	S	20.9	33.02	8.1	9.3	22	10.2	15.65	2.2	9.27	544.68	22.11	272.73
	B	20.6	33.05	8.1	11.3	31	8.0	12.36		10.73	851.06	9.10	324.24
3	S	20.5	33.08	8.2	9.5	20	6.4	13.29	2.5	8.78	642.55	7.25	263.04
	B	20.5	33.10	8.1	9.5	33	9.2	6.94		9.27	970.21	14.67	309.09
4	S	20.2	33.16	8.0	9.4	20	4.3	10.87	2.0	9.51	710.64	16.53	260.61
	B	20.2	33.18	8.0	9.5	87	5.7	4.86		16.34	1025.53	3.53	318.18
5	S	20.1	33.18	8.0	7.3	26	3.7	9.14	2.3	8.54	510.64	16.53	272.73
	B	20.1	33.18	8.0	9.6	32	2.4	6.05		9.02	961.70	7.25	290.91
6	S	20.0	33.15	8.0	7.0	27	3.2	18.60	2.2	7.81	621.28	12.82	272.73
	B	20.1	33.10	8.0	9.6	24	8.8	4.80		12.44	914.89	16.53	342.43
7	S	20.0	33.21	7.9	7.5	27	8.0	6.53	2.2	11.95	642.55	12.82	300.0
	B	20.0	33.24	8.0	9.2	23	4.3	6.00		11.46	829.79	1.67	336.36
8	S	20.1	32.86	8.0	7.8	28	7.7	19.78	2.7	16.59	765.96	36.97	312.12
	B	20.1	32.89	8.0	8.1	13	9.9	10.61		13.41	880.85	14.68	336.36
9	S	20.1	32.64	8.0	5.9	13	9.1	33.93	2.1	16.83	800.0	9.10	290.91
	B	20.1	32.86	8.0	7.9	14	6.7	5.33		13.90	1017.02	7.25	421.21
10	S	20.1	32.26	8.0	6.3	18	6.9	43.33	1.9	22.20	689.36	20.25	424.24
	B	20.3	32.87	7.9	7.0	15	10.2	5.28		11.46	893.62	16.53	351.52
11	S	20.4	32.34	8.0	4.2	12	7.2	20.98	2.0	19.02	1012.77	31.40	636.37
	B	20.0	32.90	7.9	5.4	16	8.9	5.86		13.90	1038.30	29.54	445.46
12	S	20.2	32.17	8.0	4.6	13	8.8	13.02	2.1	21.71	859.57	36.97	572.73
	B	20.0	32.73	7.9	5.4	32	8.8	3.51		16.34	778.72	18.39	1509.09

*S represents surface, B represents bottom.

3-2. 통계학적 분석을 통해 본 오염지표성 동물플랑크톤

4차례에 걸쳐 각 조사해역에서 동정된 동물플랑크톤 가운데 출현 빈도율이 높은 요각류 7종 (*Acartia omorii*, *Calanus sinicus*, *Centropages abdominalis*, *Corycaeus affinis*, *Oithona similis*, *Paracalanus parvus*, *Pseudodiaptomus marinus*)과 지각류 2종 (*Podon leuckarti*, *Evadne* sp.)을 비롯한 총 12종의 동물플랑크톤의 밀도와 각 조사해역에서 측정된 10가지 환경요인(pH, 부유물질, 투명도, 용존산소, COD, Chlorophyll-a, NO₂-N, NO₃-N, NH₃-N, PO₄-P : 단, 부산항 12월에는 용존산소와 Chlorophyll-a 제외 : 요인분석시, 수온과 염분을 포함시킴)과의 연관성을 규명하기 위하여 SAS 통계 package을 사용하여 첫번째로, 피어슨 상관계수(Pearson Correlation Coefficient)를 통한 상관분석(Correlation analysis)을 하였으며, 두번째로, 상호관계 규명 및 내부속성을 파악하기 위하여 요인분석(Factor analysis)을 하였고, 세번째로, 환경요인(독립변수)에 대한 동물플랑크

톤 종(종속변수)의 변화하는 정도를 설명하기 위하여 단계별 다중 회귀분석(Stepwise Multiple Regression analysis)를 하였다.

1) 상관분석(Correlation analysis)

환경요인과 동물플랑크톤 종 사이의 관계를 상관분석하여 상관관계를 계산한 결과는 Table 5-8과 같다.

Table 5. Pearson correlation coefficient of major zooplankton species and environmental parameters in Pusan Harbor and Suyong Bay, December 1994.

Species \ parameters	pH	SS	COD	Trans.*	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	NH ₃ -N
<i>Acartia omorii</i>	-0.3339	-0.0512	0.8209	-0.7664	0.4059	0.3652	0.1734	0.7483
<i>Calanus sinicus</i>	0.3477	0.2403	-0.1249	0.0172	-0.1552	-0.1248	-0.4157	-0.0574
<i>Centropages abdominalis</i>	0.5424	0.0073	-0.5468	0.2868	-0.2561	-0.2848	-0.3794	-0.4672
<i>Corycaeus affinis</i>	0.4142	0.0431	-0.2204	0.3560	-0.2251	-0.2826	-0.1783	-0.2241
<i>Oithona similis</i>	0.4612	-0.3074	-0.2455	0.3412	-0.0920	-0.0936	0.1277	-0.1052
<i>Paracalanus parvus</i>	-0.5054	0.0149	0.4493	-0.3256	0.3749	0.2081	0.1271	0.4829
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	0.1317	0.0321	0.0354	-0.0837	-0.1286	-0.0309	-0.0242	0.0002
<i>Noctiluca scintillans</i>	0.1952	-0.2027	-0.2274	-0.0950	-0.1080	-0.2220	-0.2346	-0.2771
<i>Sagitta crassa</i>	-0.3873	-0.0453	0.4246	-0.0226	0.0425	-0.0061	-0.2003	0.1117
<i>Oikopleura dioica</i>	-0.2956	0.3012	0.5329	0.0174	0.3166	-0.0166	0.3650	0.0391

* Transparency

Table 6. Pearson correlation coefficient of major zooplankton species and environmental parameters in Pusan Harbor, April 1995.

Species \ parameters	pH	DO	SS	COD	Chl-a	Trans.*	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	NH ₃ -N
<i>Acartia omorii</i>	-0.6670	0.2883	0.5854	0.8995	-0.1727	-0.6057	0.7789	0.5107	0.4113	0.7238
<i>Calanus sinicus</i>	-0.0880	-0.0218	-0.3090	0.3100	-0.1343	0.0897	-0.0344	0.1688	0.0505	0.3219
<i>Centropages abdominalis</i>	-0.4148	-0.1596	-0.1696	0.6190	-0.2760	-0.3258	0.1290	-0.0457	0.1906	0.5165
<i>Corycaeus affinis</i>	-0.1285	0.0390	-0.3860	0.3802	-0.0856	0.0725	-0.1212	0.1234	-0.1025	0.2573
<i>Oithona similis</i>	0.1519	-0.2595	0.2740	0.0208	0.0799	-0.3679	-0.0825	-0.1745	0.0152	0.0390
<i>Paracalanus parvus</i>	-0.1798	-0.5693	-0.3238	0.3626	-0.2510	-0.1494	-0.0574	-0.3596	0.2089	0.3127
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	-0.3532	0.1382	-0.2602	0.5349	-0.0423	-0.0411	0.1546	0.2523	0.0007	0.4146
<i>Noctiluca scintillans</i>	0.0566	0.2799	-0.2490	-0.5431	0.2637	0.0064	-0.2468	-0.2139	-0.0326	-0.1775
<i>Sagitta crassa</i>	-0.3412	-0.4190	-0.1777	0.2271	0.3053	-0.2750	0.1470	-0.4843	0.1921	0.1210
<i>Oikopleura dioica</i>	0.1374	0.4624	-0.0392	-0.3562	-0.2567	0.4314	-0.1784	0.2151	-0.5086	-0.4803
<i>Evadne sp.</i>	0.6782	0.1050	-0.4122	-0.5523	0.6049	0.3844	-0.7256	0.0293	-0.8294	-0.4998
<i>Podon leuckarti</i>	-0.1319	0.0855	0.1603	0.4580	-0.1857	-0.1694	0.2861	0.5170	0.1453	0.5678

* Transparency

Table 7. Pearson correlation coefficient of major zooplankton species and environmental parameters in Jinhae Bay, May 1995.

Species	parameters	pH	DO	SS	COD	Chl-a	Trans	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	NH ₃ -N
<i>Acartia omorii</i>		0.0572	-0.1726	0.4457	0.7353	0.1492	-0.4376	-0.3160	0.3525	0.7644	-0.0195
<i>Centropages abdominalis</i>		0.0204	-0.4080	-0.2799	-0.2746	-0.3625	-0.0068	-0.1263	-0.3778	-0.2506	0.0263
<i>Corycaeus affinis</i>		0.4105	-0.7253	0.0598	-0.1532	-0.5620	0.2576	-0.3695	-0.3983	-0.1074	0.0254
<i>Paracalanus parvus</i>		0.2269	-0.7970	0.0039	-0.2574	-0.7950	0.4746	-0.4660	-0.5867	0.0607	-0.1098
<i>Noctiluca scintillans</i>		0.1281	-0.7510	-0.4752	-0.4732	-0.7542	0.6972	-0.3304	-0.7566	-0.3775	-0.1255
<i>Sagitta crassa</i>		-0.4123	-0.0392	-0.4757	-0.2133	0.0491	0.0501	-0.1577	-0.3109	-0.2295	-0.0372
<i>Oikopleura dioica</i>		-0.1424	0.0102	-0.0361	-0.0086	-0.2050	-0.3202	-0.1946	-0.1416	0.1185	-0.1426
<i>Eudae sp.</i>		0.2570	-0.5468	0.4658	0.4385	-0.2467	-0.0327	-0.3504	-0.1152	0.6570	0.1921
<i>Podon leuckarti</i>		0.3566	-0.6603	0.3963	0.2576	-0.4064	0.1294	-0.4407	-0.2704	0.4229	0.1832

* Transparency

Table 8. Pearson correlation coefficient of major zooplankton species and environmental parameters in Jinhae Bay, October 1995.

Species	parameters	pH	DO	SS	COD	Chl-a	Trans	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	NH ₃ -N
<i>Acartia omorii</i>		0.6578	0.5114	0.4956	-0.3091	-0.4050	0.2969	-0.5193	-0.2494	-0.4837	-0.4927
<i>Calanus sinicus</i>		-0.0996	0.3581	0.3854	-0.6519	-0.6381	0.0602	-0.4519	-0.4584	-0.5880	-0.4356
<i>Centropages abdominalis</i>		0.1267	0.0853	0.0038	-0.1962	-0.3833	0.0118	-0.1060	-0.2959	-0.3794	-0.1309
<i>Corycaeus affinis</i>		0.6175	0.4961	0.3767	-0.3910	-0.5539	0.3371	-0.5768	-0.3548	-0.6195	-0.5094
<i>Oithona similis</i>		0.7672	0.4552	0.4857	-0.1003	-0.3455	0.2564	-0.4200	-0.0047	-0.2763	-0.3323
<i>Paracalanus parvus</i>		0.3172	0.4931	0.4563	-0.5936	-0.6676	0.2032	-0.6286	-0.4166	-0.6540	-0.5384
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>		-0.3044	0.3550	0.6975	-0.8048	-0.5717	-0.1253	-0.3956	-0.2674	-0.5196	-0.4545
<i>Noctiluca scintillans</i>		0.4847	0.4610	0.7653	-0.3313	-0.3757	0.0828	-0.3052	0.0566	-0.4204	-0.4010
<i>Sagitta crassa</i>		0.7754	0.4639	0.5204	-0.3264	-0.4100	0.2772	-0.4572	-0.2256	-0.5387	-0.4128
<i>Oikopleura dioica</i>		0.7644	0.5737	0.3797	-0.2038	-0.4044	0.3384	-0.6595	-0.1828	-0.3711	-0.4822
<i>Eudae sp.</i>		0.4228	0.4704	0.2795	-0.4801	-0.5979	0.2977	-0.5991	-0.5064	-0.6433	-0.5115
<i>Podon leuckarti</i>		0.2637	0.3218	0.5578	-0.6324	-0.5958	0.0685	-0.2694	-0.2991	-0.5237	-0.4094

* Transparency

4차례의 전체적인 분석결과를 12종의 동물플랑크톤 가운데 *Acartia omorii* 가 95년 10월 진해만을 제외한 전 조사해역에서 현재 수질오염척도를 가늠하는 화학적 지표로서의 환경요인 즉, COD 및 영양염류와 높은 상관관계를 보였으며, 그밖의 종들은 대체로 물리적 환경요인들과 양의 상관관계를 보인 것으로 분석되었다.

2) 요인분석(Factor analysis)

SAS 통계 package을 사용하여 주축분해법(principal axis factoring)에 의한 factor analysis를 실시하였다. 그리고 요인계수의 해석을 간편화 하기 위하여 Varimax rotation을 실시하였고, 스크리검사(scree test)와 누적분산비율을 동시에 고려하여 요인의 수효를 결정하였다(이, 1995).

전체적인 분석 결과는 동물플랑크톤 가운데 *Acartia omorii* 가 95년 5월 진해만을 제외한 전 조사해역에서 수질오염의 척도를 가늠하는 환경요인들(COD, 영양염류)과의 유의성이 가장 높은 것으로 분석되었으며, 그 외의 종들을 대체로 물리적 환경요인과의 유의성이 높은 것으로 분석되었다.

Table 9. Factor pattern explained by each factor resulting from the factor analysis in Pusan Harbor and Suyong Bay, December 1994.

Parameters	FACTORS							COMUL ATIVE
	1	2	3	4	5	6	7	
Temp.	0.0232	-0.9272	0.0223	-0.2268	-0.0609	-0.0142	0.0582	0.9194
Sal.	-0.3142	0.7831	-0.2516	-0.2472	0.1080	0.2855	0.0148	0.9298
pH	-0.2384	0.5132	-0.4931	-0.2633	0.2607	0.2646	0.3503	0.8933
SS	-0.0397	0.0118	-0.1041	0.1559	-0.0196	0.1238	0.9221	0.9029
COD	0.7963	-0.0832	0.2020	0.4679	-0.0572	-0.2013	0.1301	0.9614
Trans.	-0.8262	0.2693	-0.2714	0.0836	-0.2063	-0.0626	0.0325	0.8833
NO ₂ -N	0.3369	-0.0275	0.8282	0.1847	-0.1173	-0.0673	-0.1966	0.8912
NO ₃ -N	0.3135	-0.1953	0.7951	-0.1120	-0.0848	0.0110	-0.1608	0.8143
PO ₄ -P	0.0946	-0.0985	0.8086	0.0866	-0.0114	-0.2987	0.3129	0.8672
NH ₃ -N	0.7603	-0.1520	0.4077	-0.0959	-0.1571	-0.1415	-0.1643	0.8483
<i>Acartia omorii</i>	0.9359	-0.0096	0.0949	0.1498	-0.1582	0.0868	-0.0542	0.9429
<i>Calanus sinicus</i>	0.1282	0.0331	-0.1903	-0.1078	-0.1680	0.8817	0.1954	0.9090
<i>Centropages abdominalis</i>	-0.3509	0.3413	-0.0830	-0.0634	-0.2545	0.7835	-0.1158	0.9425
<i>Corycaeus affinis</i>	-0.1029	0.6772	-0.1863	-0.2425	0.3281	0.1026	0.0710	0.6860
<i>Oithona similis</i>	-0.1845	0.4801	0.0765	-0.4626	0.0211	-0.3742	0.4952	0.8700
<i>Paracalanus parvus</i>	0.5083	-0.0947	0.0695	0.0446	-0.6039	-0.1158	0.0005	0.6522
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	0.0258	-0.1882	-0.0715	0.0660	0.7267	-0.0414	0.1844	0.6094
<i>Noctiluca scintillans</i>	-0.0351	0.1546	-0.1277	-0.2309	0.7345	-0.0110	-0.2957	0.7218
<i>Sagitta crassa</i>	0.1576	-0.3836	-0.2847	0.6312	-0.3813	0.0241	-0.1750	0.8281
<i>Oikopleura dioica</i>	0.0569	0.0574	0.2100	0.8796	0.0083	-0.1761	0.2536	0.9197
EIGENVALUE	6.6533	2.1997	2.1621	1.9954	1.5510	1.3064	1.1249	
DIFFERENCE	4.4536	0.0376	0.1667	0.4444	0.2445	0.1816	0.2675	
PROPORTION	0.3327	0.1100	0.1081	0.0998	0.0775	0.0653	0.0562	
CUMULATIVE	0.3327	0.4426	0.5508	0.6505	0.7281	0.7934	0.8496	

Table 10. Factor pattern explained by each factor resulting from the factor analysis in Pusan Harbor, April 1995.

Parameters	FACTORS							CUMULATIVE
	1	2	3	4	5	6	7	
Temp.	-0.4634	-0.1375	0.3628	-0.3172	0.4263	-0.4377	0.2316	0.8946
Sal.	0.2628	0.9135	-0.0770	0.0751	0.1680	-0.1646	-0.1568	0.9951
pH	-0.7551	-0.1927	-0.2093	-0.4439	0.3423	0.1260	-0.0998	0.9912
DO	0.2493	0.0138	0.8601	-0.2482	0.0638	-0.1780	0.2908	0.9840
SS	0.7748	-0.3353	-0.0537	-0.4557	0.1030	0.2059	-0.1320	0.9936
COD	0.7840	0.3849	-0.0093	0.2367	-0.0043	-0.0290	-0.3662	0.9538
Chl-a	-0.0206	-0.1283	0.0122	0.1071	0.9761	-0.0240	0.1011	0.9920
Trans.	-0.8857	-0.0578	-0.0220	-0.1094	-0.0634	-0.3964	-0.1948	0.9993
NO ₂ -N	0.9729	-0.0525	-0.0764	-0.0465	-0.0752	-0.1054	-0.0835	0.9811
NO ₃ -N	0.4932	0.1465	0.4343	-0.6094	0.3075	-0.0671	-0.1300	0.9328
PO ₄ -P	0.5298	-0.0196	-0.6758	0.0572	-0.4338	-0.1154	0.1546	0.9665
NH ₄ -N	0.8810	0.3786	-0.0986	-0.0468	-0.0343	0.1401	0.0875	0.9599
<i>Acartia omorii</i>	0.8137	0.2902	0.1005	-0.1555	-0.1030	-0.0999	-0.3225	0.9052
<i>Calanus sinicus</i>	-0.0322	0.9501	-0.1159	-0.1580	0.0044	-0.2375	-0.0167	0.9989
<i>Centropages abdominalis</i>	0.2033	0.8635	-0.0794	0.2187	-0.1729	0.3016	-0.1653	0.9892
<i>Corycaeus affinis</i>	-0.0739	0.9783	0.0496	-0.0197	0.0429	-0.0988	-0.1218	0.9919
<i>Oithona similis</i>	0.0337	-0.1822	-0.1320	0.0136	0.0642	0.9284	-0.0763	0.9238
<i>Paracalanus parvus</i>	-0.0388	0.6844	-0.3672	0.4023	-0.1653	0.3863	-0.1946	0.9809
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	0.1653	0.8916	0.0846	0.0761	0.0756	-0.3770	-0.1213	0.9978
<i>Noctiluca scintillans</i>	-0.1788	-0.2045	0.0645	0.1004	0.1301	-0.1026	0.9401	0.9994
<i>Sagitta crassa</i>	0.1632	-0.1338	-0.2688	0.8895	0.2189	0.0469	0.0472	0.9604
<i>Oikopleura dioica</i>	-0.2622	-0.4647	0.6608	-0.1643	-0.2816	-0.2559	-0.2776	0.9703
<i>Evadne</i> sp.	-0.6432	0.1168	0.2706	-0.9596	0.6262	0.2828	0.1287	0.9927
<i>Podon leuckarti</i>	0.2747	0.8131	-0.0918	-0.4683	-0.0066	-0.1050	-0.1409	0.9952
EIGENVALUE	8.4290	4.8703	3.7454	2.1268	1.7865	1.2252	1.1660	
DIFFERENCE	3.5588	1.1249	1.6186	0.3403	0.5613	0.0592	0.5154	
PROPORTION	0.3512	0.2029	0.1561	0.0886	0.0744	0.0511	0.0486	
CUMULATIVE	0.3512	0.5541	0.7102	0.7988	0.8733	0.9243	0.9729	

Table 11. Factor pattern explained by each factor resulting from the factor analysis in Jinhae Bay, May 1995.

Parameters	FACTORS						COMUL ATIVE
	1	2	3	4	5	6	
Temp.	0.4025	0.2837	0.7032	-0.1086	-0.1990	0.4313	0.9745
Sal.	0.8007	0.1967	0.4086	-0.2749	0.1634	0.1627	0.9756
pH	0.1917	0.1453	0.9017	-0.1089	0.1369	-0.1830	0.9350
DO	-0.9182	-0.1475	-0.1013	0.4312	-0.2483	0.0617	0.9611
SS	-0.1735	0.5520	0.6728	0.3592	-0.0939	0.0030	0.9255
COD	-0.3036	0.8013	0.3065	0.1319	-0.0133	0.0177	0.8460
Chl-a	-0.8395	0.2114	0.0682	0.4083	-0.0221	-0.1538	0.9450
Trans.	0.5615	-0.5468	-0.1580	-0.3162	-0.2935	-0.3882	0.9761
NO ₂ -N	-0.5751	-0.3251	-0.1485	0.5613	-0.2252	-0.0766	0.8302
NO ₃ -N	-0.7679	0.3647	0.3728	0.1523	-0.1058	-0.0643	0.9001
PO ₄ -P	0.0098	0.8543	0.2278	-0.2169	-0.1386	0.1295	0.8648
NH ₃ -N	-0.0785	0.0600	0.0421	0.9309	0.0872	-0.0691	0.8904
<i>Acartia omorii</i>	0.0508	0.9573	-0.0658	-0.0357	-0.0595	-0.0964	0.9364
<i>Centropages abdominalis</i>	0.2849	-0.2412	-0.0608	0.0731	0.8683	0.0950	0.9113
<i>Corycaeus affinis</i>	0.7033	-0.0994	0.3346	0.1330	0.4896	-0.0890	0.8817
<i>Paracalanus parvus</i>	0.9228	-0.0030	0.1521	0.0468	-0.0619	0.0820	0.8874
<i>Noctiluca scintillans</i>	0.8112	-0.4030	-0.0032	-0.0443	0.1761	-0.1601	0.8791
<i>Sagitta crassa</i>	-0.0793	0.0469	-0.6697	-0.1612	0.5809	-0.2828	0.9003
<i>Oikopleura dioica</i>	0.0424	-0.0053	0.0006	-0.1011	0.0168	0.9868	0.9860
<i>Evadne</i> sp.	0.5848	0.6905	0.0999	0.2268	-0.2987	-0.0159	0.9698
<i>Podon leuckarti</i>	0.7505	0.4506	0.2449	0.2393	-0.3220	0.0719	0.9925
EIGENVALUE	7.2593	5.6099	1.8801	1.7892	1.5844	1.2454	
DIFFERENCE	1.6494	3.7298	0.0910	0.2047	0.3390	0.5101	
PROPORTION	0.3457	0.2671	0.0895	0.0852	0.0754	0.0593	
CUMULATIVE	0.3457	0.6128	0.7024	0.7875	0.8630	0.9223	

Table 12. Factor pattern explained by each factor resulting from the factor analysis in Jinhae Bay, October 1995.

Parameters	FACTORS						COMUL. ATIVE
	1	2	3	4	5	6	
Temp.	0.2145	-0.2809	0.6119	-0.4211	-0.2384	0.4651	0.9636
Sal.	0.2089	0.3097	0.6574	0.4770	0.1739	-0.0687	0.9436
pH	0.8096	0.0160	0.2820	-0.4236	0.1433	0.0109	0.9353
DO	0.3145	0.0701	0.9118	0.1550	0.0076	0.0087	0.9790
SS	0.3975	-0.0328	0.3262	0.7545	-0.2265	0.1353	0.9044
COD	-0.0752	-0.2619	-0.0880	-0.8308	-0.2714	0.2408	0.9039
Chl. a	-0.3234	-0.5192	0.0206	-0.5492	-0.1609	-0.4410	0.8965
Trans.	0.2365	0.0944	0.2285	-0.1606	0.7431	0.0669	0.6995
NO ₃ -N	-0.3211	-0.2097	-0.7897	-0.1786	-0.2577	-0.1185	0.8830
NO ₂ -N	0.0394	-0.3604	-0.6484	-0.0099	-0.2552	0.1425	0.6373
PO ₄ -P	-0.3147	-0.3813	-0.3847	-0.2926	0.0976	0.6660	0.9311
NH ₄ -N	-0.2457	-0.1062	-0.8265	-0.2496	-0.1901	0.3233	0.9577
<i>Acartia omorii</i>	0.9394	0.1469	0.1987	0.2264	0.1209	-0.1500	0.8541
<i>Calanus sinicus</i>	0.0075	0.8482	0.2478	0.4144	0.0177	-0.0568	0.9819
<i>Centropages abdominalis</i>	-0.1134	0.9533	0.0319	0.0229	-0.1661	-0.0673	0.9555
<i>Corceacus affinis</i>	0.7443	0.5782	0.1981	0.1366	0.1417	-0.1332	0.9840
<i>Oithona similis</i>	0.9641	-0.0451	0.1252	0.0518	0.0176	0.1146	0.9633
<i>Paracalanus parvus</i>	0.5005	0.7112	0.2494	0.3599	0.1061	-0.0795	0.9656
<i>Pseudodaptomus marinus</i>	0.0391	0.3405	0.2076	0.8715	-0.0670	-0.1222	0.9395
<i>Noctiluca scintillans</i>	0.8508	-0.1164	0.0948	0.4297	-0.1690	-0.0598	0.9632
<i>Sagitta crassa</i>	0.9354	0.1713	0.1254	0.1669	0.0817	-0.0980	0.9642
<i>Oikopleura dioica</i>	0.8598	0.2120	0.2983	0.0033	0.1564	0.1251	0.9133
<i>Eurytemora</i> sp.	0.4177	0.8057	0.2723	0.1320	0.1788	-0.0988	0.9845
<i>Podon leuckartii</i>	0.0067	-0.0906	0.1372	0.1707	0.9208	-0.0366	0.9055
EIGENVALUE	11.0042	3.9970	2.4192	1.9347	1.6399	1.0144	
DIFFERENCE	7.0073	1.5777	0.4845	0.2948	0.6255	0.3213	
PROPORTION	0.4585	0.1665	0.1008	0.0806	0.0683	0.0423	
CUMULATIVE	0.4585	0.6250	0.7258	0.8065	0.8748	0.9171	

3) 다중회귀분석(Multiple Regression analysis)

환경요인이 동물플랑크톤 종의 분포에 미친 영향에 대해서 살펴보면(Table 13-16), 94년 12월 부산항 및 수영만에서는 4개의 환경요인(COD, 투명도, PO₄-P, NH₃-N)이 *Acartia omorii* 의 분포에 84.02%의 영향을 끼친 것으로 나타났으며, 이 가운데 COD가 67.39%로 가장 큰 영향을 미친 것으로 분석되었다(Table 13). 95년 4월 부산항의 경우, 전년 12월의 분석결과와 같이 환경요인 가운데 COD가 *Acartia omorii* 의 분포에 80.91%의 절대적인 영향을, 그 외 *Centropages abdominalis* 의 분포에 38.22%, *Pseudodiaptomus marinus* 의 분포에 28.61%, *Noctiluca scintillans* 의 분포에 29.49%의 영향을 미친 것으로 분석되었다(Table 14). 95년 5월 진해만에서는 PO₄-P가 *Acartia omorii* 와 *Evadne* sp. 의 분포에 각각 58.44%와 43.16%의 영향을 미친 것으로 나타났다(Table 15). 95년 10월 진해만에서의 분석결과, pH가 종들의 분포에 가장 큰 영향을 미친 환경요인으로서, *Oithona similis*, *Sagitta crassa*, *Oikopleura dioica* 의 분포에 50% 이상의 높은 영향을 끼쳤으며, *Acartia omorii* 의 분포에도 43.27%의 영향을 미친 것으로 나타났다(Table 16).

Table 13. The results of stepwise multiple regression analysis of major zooplankton species and environmental parameters in Pusan Harbor and Suyong Bay, December 1994.

<i>Acartia omorii</i>					
	Partial R ²	Model R ²	C(p)	F	Prob>F
COD	0.6739	0.6739	5.3434	33.0615	0.0001
Trans.	0.0912	0.7651	1.9347	5.8222	0.0291
PO ₄ -P	0.0408	0.8059	1.5119	2.9465	0.1081
NH ₃ -N	0.0343	0.8402	1.4760	2.7931	0.1186
<i>Calanus sinicus</i>					
PO ₄ -P	0.1728	0.1728	1.6296	3.3425	0.0862
<i>Centropages abdominalis</i>					
COD	0.2990	0.2990	3.5102	6.8255	0.0189
pH	0.1011	0.4001	2.9847	2.5281	0.0020
<i>Corycaeus affinis</i>					
pH	0.1716	0.1716	-3.9478	3.3142	0.0874
<i>Oithona similis</i>					
pH	0.2127	0.2127	2.2799	4.3232	0.0540
PO ₄ -P	0.1497	0.3624	1.1852	3.5207	0.0802
<i>Paracalanus parvus</i>					
pH	0.2554	0.2554	0.2554	5.4889	0.0324
<i>Sagitta crassa</i>					
COD	0.1803	0.1803	9.8403	3.5193	0.0790
PO ₄ -P	0.1648	0.3451	7.0484	3.7735	0.0711
pH	0.1347	0.4797	5.1313	3.6242	0.0777
Trans.	0.1135	0.5933	3.8291	3.6290	0.0791
<i>Oikopleura dioica</i>					
COD	0.2840	0.2840	4.7428	6.3462	0.0228
Trans.	0.2364	0.5204	0.5544	7.3940	0.0158
<i>Pseudodiaptomus marinus, Noctiluca scintillans</i>					
No variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.					

Table 14. The results of stepwise multiple regression analysis of major zooplankton species and environmental parameters in Pusan Harbor, April 1995.

<i>Acartia omorii</i>					
	Partial R ²	Model R ²	C(p)	F	Prob>F
COD	0.8091	0.8091		29.6739	0.0010
NO ₃ -N	0.0747	0.8838		3.8542	0.0973
<i>Centropages abdominalis</i>					
COD	0.3832	0.3832		4.3483	0.0755
NO ₂ -N	0.2337	0.6164		3.6595	0.1043
NH ₄ -N	0.3002	0.9261		20.9073	0.0060
Chl-a	0.0612	0.9905		26.4571	0.0068
DO	0.0085	0.9988		20.6841	0.0199
PO ₄ -P	0.0010	0.9997		7.1021	0.1179
<i>Paracalanus parvus</i>					
DO	0.3241	0.3241		3.3560	0.1096
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>					
COD	0.2861	0.2861		2.8058	0.1378
SS	0.2640	0.5502		3.5218	0.1097
NH ₄ -N	0.2921	0.8423		9.2605	0.0286
PO ₄ -P	0.1117	0.9540		9.7142	0.0356
DO	0.0361	0.9901		10.9094	0.0456
<i>Noctiluca scintillans</i>					
COD	0.2949	0.2949		2.9282	0.1308
pH	0.2964	0.5913		4.3513	0.0821
Chl-a	0.2342	0.8255		6.7096	0.0488
<i>Evadne sp.</i>					
PO ₄ -P	0.6879	0.6879		15.4255	0.0057
pH	0.1030	0.7917		2.9929	0.1344
<i>Podon leuckatri</i>					
NH ₄ -N	0.3224	0.3224		3.3370	0.1107
Trans.	0.4361	0.7585		10.8345	0.0166
<i>Calanus sinicus, Corycaeus affinis, Oithona similis, Sagitta crassa, Oikopleura dioica</i>					
No variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.					

Table 15. The results of stepwise multiple regression analysis of major zooplankton species and environmental parameters in Jinhae Bay, May 1995.

<i>Acartia omorii</i>					
	Partial R ²	Model R ²	C(p)	F	Prob>F
PO ₄ -P	0.5844	0.5844	22.1990	14.0601	0.0038
<i>Corycaeus affinis</i>					
DO	0.5260	0.5260	301.2214	11.0962	0.0076
<i>Paracalanus parvus</i>					
DO	0.6352	0.6352	144714.04	17.4140	0.0019
<i>Noctiluca scintillans</i>					
NO ₃ -N	0.5709	0.5704	5.5640	13.3209	0.0044
DO	0.1119	0.6823	4.0140	3.1906	0.1077
PO ₄ -P	0.1251	0.8074	2.0449	5.2528	0.0511
<i>Sagitta crassa</i>					
SS	0.2263	0.2263	399.8476	2.9245	0.1180

Table 15. Continued

<i>Evadne</i> sp.					
PO ₄ -P	0.4316	0.4316	141.5795	7.5937	0.0203
DO	0.2068	0.6381	89.1612	5.1467	0.0495
NH ₃ -N	0.1472	0.7856	52.4156	5.4943	0.0471
Trans.	0.1109	0.8965	25.2305	7.5025	0.0290
<i>Podon leuckarti</i>					
DO	0.4360	0.4360	88.4752	7.7290	0.0194
SS	0.2222	0.6581	52.4728	5.8492	0.0387
pH	0.0961	0.7543	38.0304	3.1296	0.1148
Trans.	0.0755	0.8298	27.1152	3.1051	0.1214
<i>Centropages abdominalis, Oikopleura dioica</i>					
No variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.					

Table 16. The results of stepwise multiple regression analysis of major zooplankton species and environmental parameters in Jinhae Bay, October 1995.

<i>Acartia omorii</i>					
	Partial R ²	Model R ²	C(p)	F	Prob>F
pH	0.4327	0.4327	-3.5149	7.6267	0.0201
SS	0.1999	0.6326	-3.0954	4.8969	0.0542
<i>Calanus sinicus</i>					
COD	0.4250	0.4250	126.4911	7.3915	0.0216
<i>Corycaeus affinis</i>					
PO ₄ -P	0.3837	0.3837	18.6075	6.2268	0.0317
pH	0.2262	0.6099	10.8419	5.2185	0.0482
DO	0.1665	0.7764	5.6521	5.9582	0.0405
<i>Oithona similis</i>					
pH	0.5886	0.5886	-2.8417	14.3096	0.0036
SS	0.1839	0.7725	-0.0049	7.2759	0.0245
NO ₃ -N	0.0823	0.8548	-0.1731	4.5325	0.0659
<i>Paracalanus parvus</i>					
Chl-a	0.4457	0.4457	102.0275	8.0393	0.0177
PO ₄ -P	0.2802	0.7259	48.4124	9.1989	0.0142
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>					
COD	0.6478	0.6478	-3.8230	18.3904	0.0016
SS	0.0959	0.7437	-2.9601	3.3665	0.0997
<i>Noctiluca scintillans</i>					
SS	0.5857	0.5857	685.6808	14.1358	0.0037
pH	0.1832	0.7689	380.9454	7.1344	0.0256
NO ₃ -N	0.1194	0.8883	182.9597	8.5574	0.0191
<i>Sagitta crassa</i>					
pH	0.6013	0.6013	622.4677	15.0814	0.0030
COD	0.2327	0.8340	256.5032	12.6158	0.0062
SS	0.0524	0.8864	175.6914	3.6868	0.0911
DO	0.0434	0.9297	109.1104	4.3206	0.0762
<i>Oikopleura dioica</i>					
pH	0.5843	0.5843	1.5665	14.0587	0.0038
NO ₂ -N	0.1293	0.7136	0.5915	4.0621	0.0747
<i>Evadne</i> sp.					
PO ₄ -P	0.4139	0.4139	992.5729	7.0612	0.0240
Chl-a	0.2276	0.6414	606.0958	5.7120	0.0406
<i>Podon leuckarti</i>					
COD	0.3999	0.3999	35.6128	6.6651	0.0273
<i>Centropages abdominalis</i>					
No variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.					

Yoo and Lee (1980)는 요인분석을 통하여 진해만의 수질 및 생태계에 미치는 요인을 분석하였으며, Hong et al. (1985)는 다중 회귀분석을 통하여 환경요인이 식물플랑크톤 군집 변화에 미치는 영향 정도를 조사하였다. 그 외 통계학적인 분석방법을 통한 연구로는 Choi and Park (1993)이 이남연해역 분진분석등을 통하여 동물플랑크톤 종의 정집간, 계절간의 중요한 차이점과 총 개체수와 정집간, 계절간의 상호작용을 조사하였다. 본 연구에서도 통계학적인 분석(상관분석, 요인분석, 다중 회귀분석)기법을 이용하여, 4차례에 걸쳐 각 조사해역에서 조사된 환경요인과 출현 빈도율이 높은 12종의 동물플랑크톤 종들간의 상호관계를 규명하였다. 통계분석 결과, 95년 10월 진해만을 제외한 전 조사해역에서 환경요인 가운데 수질오염측정의 화학적 지표로 이용되는 COD와 영양염류가 *Acartia omorii* 와 높은 상호연관성을 갖는 것으로 분석되었다.

Acartia omorii 는 *Acartia clausi* 의 재분정을 통하여 나온 종으로 재분정 되기 전의 *Acartia clausi* 는 한국연안에서 우점적으로 출현하며 연안생태계에서 중요한 위치를 차지하고 있는 것으로 보고되었다(이, 1972; 박, 이, 1982; 노, 1982; 심 등, 1986; 박 등, 1992). 또한, 오염된 해역에 특히 풍부하여 오염 지표성을 띄는 종으로 밝혀진 바 있다(박 등, 1982). 그러나, Bradford (1976)가 동경면에서 출현하는 *A. clausi* 가 형태학적으로 다르다고 밝히며, *Acartia omorii* 라는 신종으로 기재한 후, *A. clausi* 에 대한 재분류가 시도되었다. 그 후 Ueda (1986)는 일본 연근해에서 출현하는 *A. clausi* 를 재분류하였다. 그 결과 *A. clausi* 로 분류되었던 종이 *A. omorii* 와 *A. hudsonica* 있음을 밝혔다.

연근해의 경우, 최근의 연구를 통해서 *A. clausi* 가 *A. omorii* 와 *A. hudsonica* 로 재분정(심 등, 1990)된 후, 진수민(Shim and Yun, 1990)과 진해만(황, 1993, 1994), 그리고 부산근해(홍 등, 1994; 박, 1995)에서 출현이 보고된 바 있다. 본 연구에서 *Acartia omorii* 는 전 조사해역에서 출현하였으며, 특히 부산상의 4월과 진해만의 5월에 다량출현하였고, 외해역에서 내해로 갈수록 출현량이 증가하는 양상을 보였으며, COD와 영양염류 분포와 밀접한 양의 상관관계를 보이는 특이종으로서 오염지표종으로서의 가치가 충분한 것으로 사료된다.

4. 결 론

이성과 같은 관점에서, 본 연구는 주요 동물플랑크톤 종의 오염지표성 경향을 규명하기 위하여, 부산항과 진해만에서 조사된 환경요인과 출현 빈도율이 높은 12종의 동물플랑크톤 종들간의 상관관계를 밝혀조사 하였다. 재분정환경요인에 대해 체계적이고 다양한 통계학적인 기법을 통하여 분석한 결과, 95년 10월 진해만을 제외한 전 조사해역에서 환경요인 가운데 수질오염측정의 화학적 지표로 이용되는 COD와 영양염류가 *Acartia omorii* 와 높은 상관관계와 유의성을 보인 것으로 분석되었다. 따라서 *Acartia omorii* 의 분포에 가장 큰 영향을 미친 환경요인으로 밝혀졌다.

결론적으로, 본 연구를 통해 *Acartia omorii* 는 해안 동물플랑크톤 중 오염해역의 생물학적 지표종으로서 충분한 가치를 지닌 종으로 분석되었다.

참 고 문 헌

- [1] 강영실 · 이삼석. 1990. 한국 연안의 요각류 중 *Acartia clausi*로 분류되어지고 있는 종에 대한 재검정 및 분포에 대한 연구. 한수지, 23(5), p.378-384.
- [2] 국립환경연구원. 1990. 생물학적 수질평가 기법 연구(1차연구). 5pp.
- [3] 노 일. 1982. 하계 군산인접해역에 출현하는 요각류에 대한 연구. 해양학, 충남과학연구지, 9, p.123-135.
- [4] 박주석 · 이삼석. 1982. 남해안의 환경오염 진행과 모악류 및 요각류의 생물학적 오염지표성 연구. 수진연구보고, 28호, p.89-127.
- [5] 박주석 · 이삼석 · 강영실 · 이병돈 · 허성희. 1992. 황해 동남 해역의 수괴 지표성 요각류 및 모악류의 분포와 수괴특성. 한수지, 25(4), p.251-264.
- [6] 부산광역시 종합건설본부. 1995. 명지 소형선박 운항을 위한 수로 준설과 주변해역의 환경상 영향검토. p.161-173.
- [7] 서울대 자연과학대학. 1985. 진해시 경화동 공유수면 매립 환경영향평가서. p.141-142.
- [8] 심재형 · 이동섭. 1986. 동해 서남해역의 플랑크톤(Ⅲ). 동물플랑크톤-현존량, 종조성 및 분포. 해양학회지, 21, p.146-155.
- [9] 이삼석. 1972. 진해만 및 그 인접해역의 부유성 요각류의 분포. 수진연구보고, 9, p.7-27.
- [10] 이순목. 1995. 요인분석 I. 학지사. p.43-65.
- [11] 환경처. 1991. 수질오염공정시험방법. p.41-42, p.184-194, p.201-203
- [12] 환경처. 1993. 부영양화 및 적조현상 규명에 관한 연구. 1차년도 보고서. p.70-94.
- [13] 환경처. 1994. 부영양화 및 적조현상 규명에 관한 연구. 2차년도 보고서, p.158-164, 1pp.
- [14] 홍성윤 · 마재우 · 강영실. 1994. 부산항 해역의 지표성 요각류 분포 및 동물플랑크톤 군집. 해양학회지, 29권 2호, p.132-144.
- [15] Bradford, J. M. 1976. Partial revision of the *Acartia* subgenus *Acartiura*(Copepoda: Calanoida: Acartiidae). *New Zeal. J. Mar. Freshwat. Res.* 10, p.159-202.
- [16] Choi, K. H. and C. Park. 1993. Seasonal fluctuation of zooplankton community in Asan Bay, Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.* 26(5), p424-437.
- [17] Hong, S. W., Y. C. Hah and T. S. Ahn. 1985. Factor Analysis of Water Quality and cosystem in Jinhae Bay. *J. Kor. Wat. Pollut. Res. Contr.* p.9-17.
- [18] Shim, J. H. and K. H. Yun. 1990. Seasonal variation and production of zooplankton in Chonsu Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 25(4), p.229-239.
- [19] Ueda, H. 1986. Redescription of the planktonic calanoid copepod *Acartia hudsonica* from the atlantic and pacific waters: a new record from the Japanese waters. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 42, p.124-133.
- [20] Yoo, K. I. and J. H. Lee. 1980. Environmental studies of the Jinhae Bay 2. Environmental parameters in relation to phytoplankton population dynamics. *J. Oceanol. Soc. Korea*, Vol. 15, No. 1, p.62-65.