한국환경과학회지 제18권(제2호), 141~151, 2009
Journal of the Environmental Sciences

남해안 시·공간적 수질환경 특성 비교

조 은 섭
국립수산과학원 남해수산연구소
(2008년 4월 17일 접수; 2008년 10월 16일 수정; 2008년 11월 17일 채택)

Compared of Temporal and Spatial Sea Water Quality in the Southern Coasts of Korea

Eun Seob Cho
South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea
(Manuscript received 17 April, 2008; revised 16 October, 2008; accepted 17 November, 2008)

Abstract

Temperature, salinity, COD, DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen), DIP (Dissolved Inorganic Phosphorus), and Chlorophyll *a* obtained from the southern coastal waters during the period of 2003 to 2005 were analyzed. Variability in temperature was not found between groups in southern coastal waters, but significantly different depending on sampling sites ($p<0.05$). The average temperature in 2003 estimated at 18.33℃ that was annually increased by 2005 and significantly different based on statistics ($p<0.05$). Unlikely to temperature, salinity was significantly different depending on sampling sites, as well as monthly variations ($p<0.05$). Likewise to temperature, the value of salinity was annually increased. COD estimated at the average of >1.7 mg l^{-1} for three years, indicating optimal water quality. The fluctuations of nutrients were extremely shown in different sampling sites and monthly variations. Chlorophyll *a* recorded above 2.0 μg l^{-1} which was associated with high primary phytoplankton, whereas it showed much fluctuations in temporal and spatial, In particular, Tongyong, Jaranman, Jinjuman, and Samcheonpo located in the southeast were the highest fluctuations in water quality than any other regions. The correlation between salinity/COD and nutrients/chlorophyll *a* was strongly negative or positive, which was possibly associated with much the introduction of run-off water as well as rainfall in summer.

Key Words : Environment, Nutrients, Fluctuation, Southern waters

1. 서 론

남해안은 비교적 큰 조석 차와 잘 발달된 리아스식 해안 특성을 보여, 수많은 도서 및 곡선형 해안선에 의한 반 폐쇄적 특성을 보이는 내만 해역이 발달되어 있어서 오래 전부터 어패류의 산란장 및 생육장으로 중요한 역할을 했다[1]. 목포와 완도를 중심으로 한 남서해역은 계절에 따라 대마난류, 연안 고유수, 중국 연안수, 황해저층 냉수 등 다양한 수괴가 영향을 미치고 있다[2~4]. 고흥과 여수를 중심으로 한 남중부 해역은 육지로부터 유입되는 담수의 영향과 제주도에서 북상하는 대마난류 등과 같은 외해수의 영향을 많이 받는 해역이다[5~7]. 통영과 거제를 중심으로 한 남동부 해역은 해안선이 불규칙이고 긴 리아스식 해안을 이루고 있다[8]. 이러한 해양지리학적

Corresponding Author : Eun Seob Cho, South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea
Phone: +82-61-690-8959
E-mail: escho@momaf.go.kr

이유 때문에 외해수와의 해수유동이 원활하고 영양염류의 공급이 잘 이루어져 수산 동·식물상이 풍부하다. 이와 같이 남해안은 수산학적, 해양생물학적 관점에서 매우 중요하여 현재까지 여기에 대한 연구를 활발히 진행되어 왔다[9~16].

남해안의 여러 해역 중 완도, 돌산, 고흥, 거제 등은 청정해역으로 지정되어 여기에서 생산되는 유용 양식생물은 외국으로 전량 수출되기 때문에 어업인의 소득 및 청정 수질환경을 유지하기 위해서는 기초적인 수질환경 모니터링 자료는 매우 중요하다. 또한 양식산업의 발달 및 인구 증가로 인하여 수질오염이 가중되어 환경특성에 대한 연구는 절실히 요구되는 바이다. 따라서 본 연구는 남해안의 전 연안을 대상으로 2003년부터 2005년 까지 수질환경인자에 대한 전반적인 특성을 파악하고 여기에 대한 논의를 하고자 한다.

2. 재료 및 방법

조사 시기는 2003년부터 2005년까지 남해서부연안의 목포항 (정점 1, 2), 신안 (정점 3, 4), 완도항 (정점 5, 6), 남해중부연안의 득량만 (정점 7, 8), 고흥 (정점 9, 10, 11), 여자만 (정점 12, 13), 가막만 (정점 14, 15), 광양만 (정점 16, 17), 여수 (정점 18, 19, 20), 남해 (정점 21, 22), 남해동부연안의 거제도 (정점 23, 24), 통영연안 (정점 25, 26), 통영외안 (정점 27, 28, 29), 자란만 (정점 30, 31), 삼천포 (정점 32), 진주만 (정점 33, 34)를 대상으로 3월부터 11월까지 조사하였다 (Fig. 1). 남해서부, 남해중부 및 남해동부 해역은 조사년보의 구분에 따랐다. 각 조사 정점에서의 표층수온과 염분은 염분계 YSI 6920을 이용하여 현장에서 기록하였다. 표층해수는 Niskin bottle(G/O, 1.2L, USA)을 이용하였다. 채수된 해수는 1L 플라스틱 용기에 담아 냉장고에 보관 후 실험실로 옮겨와 해양환경공정시험방법[17]에 의거 즉시 분석을 실시했다. 부유물질 (SS)은 미리 무게를 측정한 유리섬유 여과지 (GF/F: 0.7 μm)로 여과하여 건조한 후 함량차로 측정하였다. Chlorophyll *a*는 해수시료를 0.45 μm 여과지로 여과하여 90% acetone으로 추출한 후 spectrophotometer (Perkin Elmer, LS50B)로 비색 정량하였다. 암모니아 질소는 인도페놀법

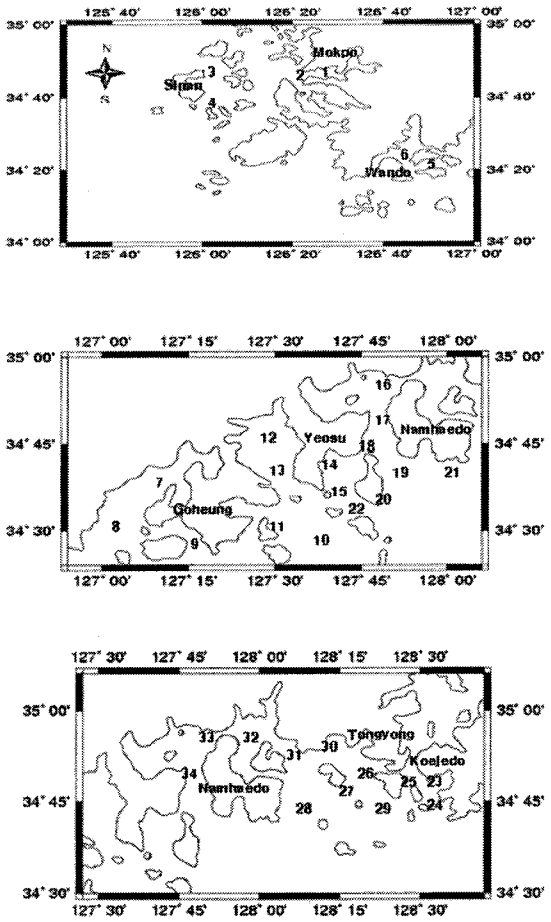

Fig. 1. Map showing the sampling locations (upper: southwest, midder: southmiddle, lower: southeast).

을 이용하여 640 nm에서 정량하였고, 아질산 질소는 술퍼닐아미드 용액과 NED 용액으로 반응시켜 543 nm에서, 질산 질소는 카드늄-구리 환원관을 통과시켜 아질산 질소의 정량 방법에 의해서 정량하였다. 인산인은 885 nm에서 측정하였고, COD는 티오황산나트륨으로 적정한 후 환산하여 정량하였다. 각 측정 항목들의 년간, 계절 및 정점간의 차이는 One-way ANOVA를 이용하여 분석하였으며, 항목들의 유의한 차이를 검정하였다. 수질변동에 영향을 미치는 요인들을 구명하기 위하여 정점별 상관분석을 실시하였다. 통계적인 분석들은 SPSS 프로그램 (ver. 10.0)을 이용하여 유의성을 95% 수준에서 검정했다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 2003년

2003년 남해안 각 해역별에 대한 수온, 염분, COD, 용존무기질소, 용존무기인, 클로로필에 대한 차이를 분석했다 (Table 1). 수온, 용존무기질소, 용존무기인 및 클로로필의 차이는 없었으나, 염분과 COD의 경우 해역별 차이가 유의적 수준 (99%, 95%)에서 뚜렷이 나타났다. 염분의 경우 대부분 평균값의 범위가 27.81-32.28로 95% 유의적 수준에서 차이를 보이지 않았으나, 통영외안 (정점 29)과 자란만 (정점 30)의 염분은 17.50과 19.15로 현저한 차이를 보였다 (p<0.05, Table 2). 우리나라는 온대지방의 대기온도에 영향을 많이 받기 때문에 여름철 집중적인 강우로 인하여 염분변화를 일으킬 수 있으나, 남해안은 굴곡이 심하고 만으로 대부분 형성되고 있기 때문에 육지 및 하천으로부터 유입되는 육수로 인하여 수질환경요인 중 염분이 큰 폭으로 변동 될 수 있다. 특히, 통영외안과 자란만의 20 이하의 염분은 조사 시기에 하천으로부터 대량의 담수가 유입되어 COD도 큰 폭으로 상승된 것으로 추측된다. 완도항 (정점 5)과 삼천포 (정점 32)의 COD는 각각 1.09과 1.10 mg l^{-1}로 다른 정점에 비하여 뚜렷하게 낮게 나타났다 (p<0.05). 계절별 차이를 보면 수온, 염분, COD, 용존무기질소, 용존무기인, 클로로필 모두 99% 범위 내에서 각 해역별 해양환경 인자의 차이를 보였다 (Table 3). 수온의 경우 3월부터 9월까지 평균값의 변동이 유의적 수준에서 차이를 타냈으나 (p<0.05), 10월의 평균 수온인 21.14℃는 7월의 21.16℃와는 유의적으로 차이를 볼 수 없었다. 11월의 평균 수온 16.29℃도 5월의 16.66℃와는 통계적으로 차이가 나타나지 않았다 (Table 4). 염분도 월별 차이가 뚜렷이 나타났다. 6월, 8월, 10월은 28.87-30.62 범위로 유의적 차이가 나타나지 않았고, 7월과 9월에는 6월, 8월, 10월에 비하여 현저하게 낮은 값을 보였다 (p<0.05). COD는 3월부터 5월까지 1.31-1.56 mg l^{-1} 범위를 보여 유의적 차이가 없었고 9월부터 11월에 나타난 값도 3-5월 COD와는 유의적 차이가 나타나지 않았으나, 6월의 2.09 mg l^{-1}, 7월의 1.98 mg l^{-1}, 8월의 1.96 mg l^{-1} 값은 유의적 수준에서 각각 차이가 나타났다 (p<0.05). 용존무기질소는 8월 4.32 mg l^{-1}로 다른 월별에 비하여 매우 높게 보였고

Table 1. Results of one-way factor ANOVA on temperature, salinity, COD, DIN, DIP, and chlorophyll *a* between groups in southern coastal waters in 2003

Parameters	df	F-ratio	p
Temperature	33	0.080	NS
Salinity	33	5.882	**
COD	33	1.897	*
DIN	33	0.921	NS
DIP	33	0.732	NS
Chlorphyll a	33	1.028	NS

NS, non-significant, **, p<0.001, *, p<0.005

Table 2. Multiple comparison of salinity and COD at different sampling sites in southern coastal waters in 2003. The same superscript in each column indicates that means are not significantly different (p<0.05, Duncan test)

Station	Salinity	COD
1	31.0767^{a}	1.2847^{c}
2	30.9778^{a}	1.7627^{c}
3	27.7567^{a}	1.6020^{c}
4	29.2067^{a}	1.9793^{c}
5	31.4600^{a}	1.0920^{d}
6	30.7633^{a}	1.7675^{c}
7	31.5278^{a}	1.7585^{c}
8	31.4289^{a}	1.7395^{c}
9	31.5156^{a}	1.5330^{c}
10	31.4878^{a}	1.4995^{c}
11	31.6144^{a}	1.9643^{c}
12	30.8467^{a}	1.7512^{c}
13	30.9033^{a}	1.9757^{c}
14	27.8177^{a}	1.8392^{c}
15	27.0922^{a}	1.8103^{c}
16	29.2189^{a}	1.9354^{c}
17	30.4967^{a}	1.8074^{c}
18	29.9933^{a}	1.8428^{c}
19	31.5822^{a}	1.6330^{c}
20	30.8778^{a}	1.5210^{c}
21	31.3822^{a}	1.2748^{c}
22	32.0489^{a}	1.2363^{c}
23	32.0900^{a}	1.3296^{c}
24	31.4544^{a}	1.4756^{c}
25	29.8422^{a}	2.2282^{c}
26	30.4844^{a}	2.3157^{c}
27	31.4589^{a}	1.3779^{c}
28	31.6589^{a}	1.2434^{c}
29	17.5016^{b}	2.7497^{c}
30	19.1550^{b}	2.2262^{c}
31	30.5586^{a}	1.2678^{c}
32	31.2680^{a}	1.1029^{d}
33	31.8564^{a}	1.2678^{c}
34	32.2884^{a}	1.2524^{c}

Table 3. Results of one-way factor ANOVA on monthly variations of temperature, salinity, COD, DIN, DIP, and chlorophyll *a* between groups in southern coastal waters in 2003

Parameters	df	F-ratio	*p*
Temperature	8	716.0630	**
Salinity	8	12.5930	**
COD	8	4.7820	**
DIN	8	5.7790	**
DIP	8	13.0120	**
Chlorphyll *a*	8	4.2160	**

**, $p<0.001$

($p<0.05$), 용존무기인도 7월에 6.44 mg l^{-1}로 매우 높게 나타났다 ($p<0.05$). 그러나 7월과 8월을 제외한 나머지 월별은 차이가 보이지 않았다. 클로로필의 경우 6월, 8월, 9월의 평균범위는 3.19-3.94 μg l^{-1}으로 유의적 차이는 없으나, 7월의 4.11 μg l^{-1}과는 뚜렷한 차이를 보이고 있다 ($p<0.05$). 남해안은 3월부터 수온이 서서히 상승하여 여름철에 정점을 형성한 후 가을철부터 서서히 하강함과 아울러 염분은 반대로 작용되는 전형적인 계절성 변동을 뚜렷이 보여주고 있다. 따라서 남해안은 시계열에 따라 현저한 변화를 보여주고 있으므로 양식생물의 생산성을 위하여 수질환경 모니터링은 매우 절실히 요구되는 바이다. COD는 2 mg l^{-1} 이하로 비교적 양호한 수질을 유지하고 있다[18~20].

3.2. 2004년

2004년 남해안 각 해역별에 대한 수온, 염분, COD, 용존무기질소, 용존무기인, 클로로필 변동을 통계 분석한 것으로 염분, 용존무기질소, 용존무기인은 차이가 있는 것으로 나타난 반면에 ($p<0.001$), 수온과 COD는 유의적 차이가 없었다 (Table 5). 정점 29와 30의 평균 염분은 23.31과 26.20으로 다른 조사정점에 비하여 매우 낮게 보였고 ($p<0.05$), 남해서부의 신안 (정점 3, 4), 남해중부의 가막만 (정점 14), 남해동부의 통영연안 (정점 25), 자란만 (정점 31), 진주만 (정점 33, 34)의 염분 범위는 29.84-31.63으로 다른 정점에 비하여 다소 낮게 보였을 뿐만 아니라 유의적 차이도 나타났다 ($p<0.05$, Table 6). 용존무기질소는 정점 29와 30에서 0.72와 0.66 mg l^{-1}로 다른 정점에 비하여 매우 높게 보였으나 ($p<0.05$), 용존무기인의 평균 농도는 0.018과 0.015 mg l^{-1}로 다른 정점과는 큰 차이를 보여주지 못했다. 그러나 조사정점 17, 18, 19에서 다른 정점에 비해 매우 낮은 0.003-0044 mg l^{-1}로 나타났다 ($p<0.05$). 계절별로 보면 수온, 염분, COD, 용존무기질소, 용존

Table 5. Results of one-way factor ANOVA on temperature, salinity, COD, DIN, DIP, and Chlorophyll *a* between groups in southern coastal waters in 2004

Parameters	df	F-ratio	*p*
Temperature	33	0.097	NS
Salinity	33	3.664	**
COD	33	1.610	NS
DIN	33	4.833	**
DIP	33	2.221	**
Chlorphyll *a*	33	0.946	NS

NS, non-significant, **, $p<0.001$

Table 4. Multiple comparison of monthly variations in temperature, salinity, COD, DIN, DIP, and chlorophyll *a* in southern coastal waters in 2003. The same superscript in each column indicates that means are not significantly different ($p<0.05$, Duncan test)

Month	Temperature	Salinity	COD	DIN	DIP	Chlorophyll *a*
Mar.	8.5655^{a}	32.3409^{d}	1.3335^{a}	0.0614^{a}	0.0094^{a}	3.0572^{a}
Apr.	12.4538^{b}	31.6412^{c}	1.3142^{a}	0.1381^{a}	0.0173^{a}	2.4824^{a}
May	16.6682^{c}	31.6174^{c}	1.5661^{a}	0.0992^{a}	0.0072^{a}	2.2838^{a}
Jun.	20.2632^{d}	30.6232^{b}	2.0901^{d}	0.1420^{a}	0.0087^{a}	3.9418^{b}
Jul.	21.1671^{e}	24.5426^{a}	1.9865^{c}	0.3154^{a}	6.4488^{b}	4.1179^{c}
Aug.	24.7450^{f}	28.8718^{b}	1.9620^{b}	0.0669^{a}	0.0064^{a}	3.1947^{b}
Sep.	23.7059^{g}	27.3968^{a}	1.8266^{a}	4.3236^{b}	0.1081^{a}	3.4459^{b}
Oct.	21.1406^{e}	30.5212^{b}	1.3314^{a}	0.0971^{a}	0.0173^{a}	1.6584^{a}
Nov.	16.2976^{c}	32.3635^{d}	1.4086^{a}	0.1298^{a}	0.0205^{a}	0.7811^{a}

Table 6. Multiple comparison of salinity, DIN, and DIP at different sampling sites in southern coastal waters in 2004. The same superscript in each column indicates that means are not significantly different (p<0.05, Duncan test)

Station	Salinity	DIN	DIP
1	32.3034[a]	0.0425[a]	0.0079[b]
2	32.3872[a]	0.0579[a]	0.0135[b]
3	29.8474[b]	0.1658[a]	0.0219[b]
4	30.8513[b]	0.0986[a]	0.0148[b]
5	32.8546[a]	0.0713[a]	0.0145[b]
6	32.5395[a]	0.0749[a]	0.0130[b]
7	32.4386[a]	0.0752[a]	0.0073[b]
8	32.4902[a]	0.0510[a]	0.0073[b]
9	32.7247[a]	0.0309[a]	0.0102[b]
10	32.3885[a]	0.0753[a]	0.0106[b]
11	32.3467[a]	0.0635[a]	0.0150[b]
12	32.2175[a]	0.0532[a]	0.0114[b]
13	31.9033[a]	0.0415[a]	0.0064[b]
14	30.9411[b]	0.2344[a]	0.0156[b]
15	31.6800[a]	0.1704[a]	0.0150[b]
16	31.7367[a]	0.1641[a]	0.0114[b]
17	32.6900[a]	0.0508[a]	0.0039[a]
18	32.4756[a]	0.0567[a]	0.0044[a]
19	33.0844[a]	0.0383[a]	0.0037[a]
20	32.7711[a]	0.0578[a]	0.0067[b]
21	32.2400[a]	0.0692[a]	0.0078[b]
22	32.7333[a]	0.0783[a]	0.0096[b]
23	32.5089[a]	0.0636[a]	0.0076[b]
24	32.5556[a]	0.0531[a]	0.0068[b]
25	31.0300[b]	0.0630[a]	0.0079[b]
26	31.7311[a]	0.0519[a]	0.0074[b]
27	32.3789[a]	0.0453[a]	0.0047[a]
28	32.7744[a]	0.0655[a]	0.0083[b]
29	23.3100[c]	0.7220[b]	0.0180[b]
30	26.2078[c]	0.6626[b]	0.0158[b]
31	30.3389[b]	0.2503[a]	0.0132[b]
32	31.8189[a]	0.1940[a]	0.0149[b]
33	31.5922[b]	0.1575[a]	0.0135[b]
34	31.6300[b]	0.1220[a]	0.0117[b]

무기인, 클로로필 모두 p<0.001과 p<0.01 범위내에서 차이가 있는 것으로 나타났다 (Table 7). 수온은 월별로 뚜렷한 차이를 나타내고 있으나 (p<0.05), 8월과 9월의 각각 25.14℃와 24.62℃는 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타났다 (Table 8). 3월부터 6월까지의 염분범위와 8월, 10월, 11월과는 큰 차이가 없는 31.12-33.43 였으나, 7월과 9월에는 다소 낮은 29.49와 28.17로 차이를 나타내고 있다 (p<0.05). COD는 5월에 1.51 mg l^{-1}로 3월과 4월에 비하여 높게 나타났고 (p<0.05) 6월부터 11월까지 거의 비슷한 농도를 보였다. 4월부터 8월까지의 용존무기인의 농도 범위는 0.006-0.008 mg l^{-1}로 차이를 보여주지 못하지만, 3월을 비롯하여 9-11월과 비교해보면 농도가 낮을 뿐만 아니라 통계적으로 차이를 보여주고 있다 (p<0.05). 반면에, 7월의 클로로필는다른 월에 비하여 매우 높은 8.037 μg l^{-1}로 큰 차이를 보여주고 있다 (p<0.05).

Table 7. Results of one-way factor ANOVA on monthly variations of temperature, salinity, COD, DIN, DIP, and Chlorophyll *a* between groups in southern coastal waters in 2004

Parameters	df	F-ratio	p
Temperature	8	687.647	**
Salinity	8	11.300	**
COD	8	7.285	**
DIN	8	2.721	NS
DIP	8	9.304	**
Chlorphyll *a*	8	15.011	**

NS, non-significant, **, p<0.001

3.3. 2005년

2005년 남해서부, 남해중부 및 남해동부에 대한 수온, 염분, COD, 용존무기질소, 용존무기인, 클로로필 변동에 대한 통계 분석한 것으로 수온을 제외하고 99%, 95% 범위내에서 현저한 차이를 볼 수 있었다 (Table 9). 염분을 정점별로 보면 통영외안 (정점 29)에서 27.30으로 다른 정점 범위 (30.21-33.40)와는 현저한 차이가 나타났다 (p<0.05). COD의 경우 남해도 (정점 22), 거제도 (정점 23, 24), 자란만 (정점 31), 진주만 (정점 33)에서 1.00 mg l^{-1} 이하로 다른 정점에 비하여 현저히 낮았다 (p<0.05). 반면에, 신안 (정점 4), 완도항 (정점 6), 통영외안 (정점 29), 자란만 (정점 30)은 1.50 mg l^{-1} 이상으로 다른 정점에 비하여 현저히 높게 나타났다 (p<0.05). 대부분의 해역에서 용존무기질소의 농도는 0.15 mg l^{-1} 이하로 보였으나, 가막만 (정점 14)과 자란만 (정점 31)은 0.21과 0.19 mg l^{-1}로 매우 높게 나타났다 (p<0.05). 여수 (정점 18)에서 용존무기인이 0.008 mg l^{-1}로 다른 정점과 비교시 현저하게 낮은 농도를 보였다 (p<0.05). 대부분의 해역에서 클로로필은 5 μg l^{-1} 이하로 보였으나, 남해중부의 여자만 (정점 13), 가막

Table 8. Multiple comparison of monthly variations in temperature, salinity, COD, DIN, DIP, and Chlorophyll *a* in southern coastal waters in 2004. The same superscript in each column indicates that means are not significantly different ($p<0.05$, Duncan test)

Month	Temperature	Salinity	COD	DIP	Chlorophyll *a*
Mar.	8.2956^{a}	33.0624^{c}	0.5353^{a}	0.0117^{b}	1.4669^{a}
Apr.	12.1241^{b}	33.4394^{c}	0.8300^{b}	0.0073^{a}	1.3497^{a}
May	16.4085^{c}	32.0319^{c}	1.5111^{c}	0.0069^{a}	2.6783^{a}
Jun.	19.7922^{e}	32.7271^{c}	0.7777^{b}	0.0073^{a}	1.0971^{a}
Jul.	23.4144^{g}	29.4950^{b}	1.4561^{c}	0.0080^{a}	8.0308^{b}
Aug.	25.1498^{h}	32.6742^{c}	1.0099^{c}	0.0076^{a}	2.0045^{a}
Sep.	24.6256^{h}	28.1749^{a}	1.5216^{c}	0.0198^{c}	3.0588^{a}
Oct.	21.1199^{f}	31.1257^{c}	1.2661^{c}	0.0118^{b}	1.9988^{a}
Nov.	17.6838^{d}	31.9655^{c}	1.3669^{c}	0.0154^{c}	3.2778^{a}

Table 9. Results of one-way factor ANOVA on temperature, salinity, COD, DIN, DIP, and Chlorophyll *a* between groups in southern coastal waters in 2005

Parameters	df	F-ratio	*p*
Temperature	33	0.103	NS
Salinity	33	3.251	**
COD	33	3.400	**
DIN	33	4.354	**
DIP	33	1.210	*
Chlorphyll *a*	33	1.976	*

NS, non-significant, **, $p<0.001$, *, $p<0.05$

만 (정점 15), 광양 (정점 16), 남해동부의 통영연안 (정점 25, 26)과 통영외안 (정점 29)은 5.33-15.39 μg l^{-1}으로 다른 정점에 비해 매우 높게 나타났다 ($p<0.05$). 계절별의 수온, 염분, COD, 용존무기질소, 용존무기인, 클로로필 차이는 $p<0.001$ 범위 내에서 나타났다 (Table 11). 3월부터 8월까지 월별 수온은 뚜렷한 차이를 보였고 ($p<0.05$), 9월의 24.80℃는 8월과는 유의적 차이가 없으며 10월은 7월과 11월은 5월의 평균수온과는 차이가 없는 것으로 보였다 ($p<0.05$, Table 12). 7월의 평균 염분은 30.61로 8월의 31.70과는 유의적으로 차이를 보였으며 ($p<0.05$), 또한 3월부터 6월 및 9월부터 11월보다 낮은 염분을 보였다 ($p<0.05$). COD의 경우 7월부터 9월까지 1.47-1.64 mg l^{-1}로 다른 계절에 비하여 상당히 높은 농도를 보였다 ($p<0.05$). 용존무기질소는 7월에 가장 높은 0.213 mg l^{-1} 농도를 보여 9월과는 현저하게 차이를 보였다 ($p<0.05$). 그러나, 동계인 3월, 4월, 10월, 11월과는 통계적으로 차이를 보이지 않았다. 용존무기인의 경우, 하절기 6월에서 9월동안 0.017-0.020 mg l^{-1}범위를 보였으나, 6월과 7월 및 8월과 9월과의 농도비교는 유의적으로 차이가 나타났다 ($p<0.05$). 조사기간 중 7월에 클로로필의 농도가 8.65 μg l^{-1}로 가장 높았으나, 6월, 8월 및 9월과는 유의적인 차이가 없었다.

3.4. 2003-2005년

2003년에서 2005년 동안 각 수질항목에 대한 각 연도별 차이를 보면 수온, 염분, COD, 용존무기질소, 용존무기인, 클로로필 모든 항목에서 유의적 차이가 나타났다 ($p<0.05$, Table 13). 수온을 보면 매년 소폭으로 상승하는 경향을 보이고 있으며, 2003년 평균수온 18.33℃은 2004년 및 2005년과는 유의적 차이를 보이고 있고 ($p<0.05$), 염분도 수온처럼 매년 조금씩 상승하는 경향을 보이고 있고, 2003년 29.99는 2004년과 2005년과는 통계적으로 차이가 나타났다 ($p<0.05$, Table 14). 2003년에 COD가 1.65 mg l^{-1}로 2004년과 2005년에 비하여 높게 나타났다 ($p<0.05$). 용존무기질소 및 용존무기인도 2003년에 가장 높은 0.59 mg l^{-1}, 0.73 mg l^{-1}로 2004년과 2005년에 비하여 현저한 차이를 보였다 ($p<0.05$). 클로로필은 2003년과 2004년 모두 2.80 μg l^{-1}으로 유의적 차이는 없었으나, 2005년 4.24 μg l^{-1}와는 유의적 차이를 보였다 ($p<0.05$). 수질항목에 대한 조사 정점별로 보면 수온, 염분, COD, 클로로필은 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p<0.05$, Table 15). 남해서부, 남해중부 및 남해동부 모두 18.11-19.58℃로 정점별 유의적 차이는

Table 10. Multiple comparison of salinity, COD, DIN, DIP, and Chlorophyll *a* at different sampling sites in southern coastal waters in 2005. The same superscript in each column indicates that means are not significantly different (p<0.05, Duncan test)

Station	Salinity	COD	DIN	DIP	Chlorphyll *a*
1	32.2522^{a}	1.115^{b}	0.0529^{a}	0.0117^{b}	3.155^{b}
2	32.6574^{a}	1.152^{b}	0.0591^{a}	0.0188^{b}	2.773^{b}
3	31.6530^{a}	1.374^{b}	0.1392^{a}	0.0206^{b}	4.792^{b}
4	31.5766^{a}	1.566^{c}	0.0376^{a}	0.0183^{b}	3.778^{b}
5	33.2990^{a}	1.204^{b}	0.0545^{a}	0.0116^{b}	2.861^{b}
6	32.9708^{a}	1.621^{c}	0.0607^{a}	0.0143^{b}	4.266^{b}
7	32.9796^{a}	1.452^{b}	0.0441^{a}	0.0113^{b}	3.692^{b}
8	33.1014^{a}	0.996^{b}	0.0727^{a}	0.0192^{b}	1.669^{b}
9	32.7611^{a}	1.099^{b}	0.0360^{a}	0.0131^{b}	0.983^{b}
10	33.4061^{a}	1.422^{b}	0.0647^{a}	0.0178^{b}	2.616^{b}
11	32.4359^{a}	1.575^{c}	0.1343^{a}	0.0176^{b}	3.497^{b}
12	32.7628^{a}	1.157^{b}	0.0410^{a}	0.0138^{b}	1.542^{b}
13	32.8000^{a}	1.290^{b}	0.0614^{a}	0.0129^{b}	6.477^{a}
14	30.6022^{a}	0.916^{b}	0.2106^{b}	0.0195^{b}	4.503^{b}
15	31.6978^{a}	1.031^{b}	0.1313^{a}	0.0177^{b}	6.809^{a}
16	32.2156^{a}	0.994^{b}	0.0896^{a}	0.0138^{b}	7.191^{a}
17	32.3611^{a}	1.087^{b}	0.1088^{a}	0.0145^{b}	4.548^{b}
18	32.4811^{a}	1.006^{b}	0.1004^{a}	0.0160^{b}	2.562^{b}
19	33.1644^{a}	1.005^{b}	0.0526^{a}	0.0081^{a}	2.064^{b}
20	33.3389^{a}	0.851^{b}	0.1009^{a}	0.0153^{b}	2.661^{b}
21	32.9789^{a}	1.027^{b}	0.0602^{a}	0.0104^{b}	4.553^{b}
22	33.2911^{a}	0.642^{a}	0.0689^{a}	0.0138^{b}	2.454^{b}
23	33.2767^{a}	0.705^{a}	0.0522^{a}	0.0138^{b}	2.963^{b}
24	33.1267^{a}	0.723^{a}	0.0656^{a}	0.0121^{b}	2.970^{b}
25	31.5100^{a}	1.407^{b}	0.0776^{a}	0.0161^{b}	8.337^{a}
26	31.9156^{a}	1.217^{b}	0.0560^{a}	0.0136^{b}	5.334^{a}
27	33.1678^{a}	0.932^{b}	0.0432^{a}	0.0115^{b}	3.664^{b}
28	33.3333^{a}	0.730^{b}	0.0630^{a}	0.0127^{b}	2.452^{b}
29	27.3089^{b}	2.719^{c}	0.5661^{c}	0.0271^{b}	15.392^{a}
30	30.2133^{a}	1.953^{c}	0.4750^{c}	0.0195^{b}	9.662^{a}
31	31.8967^{a}	0.718^{a}	0.1913^{b}	0.0148^{b}	4.056^{b}
32	32.7244^{a}	0.869^{b}	0.1404^{a}	0.0157^{b}	4.027^{b}
33	33.0700^{a}	0.614^{a}	0.1269^{a}	0.0162^{b}	3.640^{b}
34	33.2544^{a}	0.820^{b}	0.1060^{a}	0.0132^{b}	2.498^{b}

Table 11. Results of one-way factor ANOVA on monthly variations of temperature, salinity, COD, DIN, DIP, and Chlorophyll *a* between groups in southern coastal waters in 2005

Parameters	df	F-ratio	p
Temperature	8	685.621	**
Salinity	8	9.630	**
COD	8	8.688	**
DIN	8	2.595	**
DIP	8	11.534	**
Chlorphyll *a*	8	4.846	**

**, p<0.001

없었으나, 자란만 (정점 31), 삼천포 (정점 32), 진주만 (정점 33,34)의 평균수온은 17.26-17.96℃로 다소 낮았으며, 통계적으로 차이가 있는 것으로 나타났다 (p<0.05, Table 16). 통영외안 (정점 29) 과 자란만 (정점 30)의 염분은 다른 정점에 비하여 매우 낮은 22.70과 25.19로 현저한 차이를 볼 수 있다 (p<0.05). COD도 정점 29와 30에서 2.50과 1.93 mg l^{-1}로 다른 정점에 비하여 높은 농도를 나타내고 있다 (p<0.05). 클로로필도 정점 29와 30에서 가장 높은 9.04 μg l^{-1}과 7.15 μg l^{-1}으로 다른 정점에 비하여 높았다 (p<

Table 12. Multiple comparison of monthly variations in temperature, salinity, COD, DIN, DIP, and Chlorophyll *a* in southern coastal waters in 2005. The same superscript in each column indicates that means are not significantly different ($p<0.05$, Duncan test)

Month	Temperature	Salinity	COD	DIN	DIP	Chlorophyll *a*
Mar.	8.4709^{a}	33.8447^{c}	0.705^{a}	0.1438^{b}	0.0149^{c}	1.967^{a}
Apr.	11.9462^{b}	33.2079^{c}	0.955^{b}	0.0912^{b}	0.0089^{a}	2.730^{a}
May	17.5365^{c}	33.1826^{c}	1.031^{b}	0.0631^{a}	0.0097^{a}	2.543^{a}
Jun.	21.6207^{d}	32.9439^{c}	0.906^{a}	0.0565^{a}	0.0177^{d}	4.348^{b}
Jul.	22.6198^{e}	30.6148^{a}	1.642^{c}	0.2132^{b}	0.0207^{d}	8.655^{b}
Aug.	25.4975^{f}	31.0910^{b}	1.478^{c}	0.1293^{b}	0.0119^{b}	5.824^{b}
Sep.	24.8030^{f}	31.7023^{c}	1.648^{c}	0.0649^{a}	0.0113^{b}	6.145^{b}
Oct.	22.2371^{e}	32.4007^{c}	0.860^{a}	0.0877^{b}	0.0176^{d}	2.541^{a}
Nov.	16.5858^{c}	32.6079^{c}	1.095^{b}	0.1416^{b}	0.0240^{d}	3.482^{a}

Table 13. Results of one-way factor ANOVA on annual temperature, salinity, COD, DIN, DIP, and Chlorophyll *a* between groups in southern coastal waters during 2003 to 2005

Parameters	df	F-ratio	*p*
Temperature	2	12.125	**
Salinity	2	9.981	**
COD	2	20.356	**
DIN	2	5.681	*
DIP	2	13.552	**
Chlorphyll *a*	2	6.985	*

*, $p<0.05$, **, $p<0.001$

0.05). 이상의 결과를 종합해 보면 조사 해역은 비록 파랑은 적지만, COD도 3년동안 2 mg l^{-1}이하로 양호한 수질을 유지하였으며, 클로로필은 불균일화된 분포를 보이지만 2 μg l^{-1}이상을 보여 비교적 높은 기초생물생산성을 나타내었다. 지형적으로 육수유입, 조석혼합, 외양수에 의한 해수 교환 등이 어느 정도 가능하기 때문에 수질환경은 시공간적으로 균질화 된 변화보다 다양한 변동 양상을 보여주고 있는 것이 큰 특징이지만 남해안이 양식생물을 사육하기 위한 양호한 수질과 지속적인 클로로필 공급으로 매우 적합한 환경을 갖고 있음에 틀림없다. 좀 더 세밀히 관찰해 보면, 남해동부해역 중 통영외안, 자란만, 삼천포, 진주만은 다른 해역에 비하여 수질환경이 많이 상이하다는 점은 외양수의 영향도 있을 수 있지만, 보다 직접적인 원인은 육지로부터 유입되는 육수 및 하천수의 영향이 매우 크기 때문에 앞으로 지속적인 모니터링을 통하여 안정적인 양식생산을 위하여 절실히 요구되는 바이다.

수질항목에 대한 상관관계를 보면 수온과 염분 및 클로로필은 양의 상관관계를 보인 반면에 COD, 용존무기질소 및 용존무기인은 음의 상관관계를 보였다 (Table 17). 염분과 COD, 용존무기질소, 용존무기인 및 클로로필과는 음의 상관관계가 나타난 반면에, COD와 용존무기질소, 용존무기인 및 클로로필과는 양의 상관관계가 나타났다. 용존무기질소와 용존무기인은 음의 상관관계로 나타났으나, 용존무기인과 클로로필은 양의 관계를 보였다. 남해안의 환경요인은 계절적 변화가 극심함에도 불구하고, 수온과 여러 환경인자와는 음·양의 강한 상관관계

Table 14. Multiple comparison of average temperature, salinity, COD, DIN, DIP, and Chlorophyll *a* in southern coastal waters. The same superscript in each column indicates that means are not signficantly different ($p<0.05$, Duncan test)

Year	Temperature	Salinity	COD	DIN	DIP	Chlorophyll *a*
2003	18.3342^{a}	29.9910^{a}	1.6598^{b}	0.5971^{b}	0.7382^{b}	2.8146^{a}
2004	18.7349^{b}	31.6330^{b}	1.1417^{a}	0.1257^{a}	0.0106^{a}	2.7736^{a}
2005	19.0353^{b}	32.3996^{b}	1.1467^{a}	0.1102^{a}	0.0152^{a}	4.2483^{b}

Table 15. Results of one-way factor ANOVA on temperature, salinity, COD, DIN, DIP, and Chlorophyll *a* at different sampling sites in southern coastal waters during 2003 to 2005

Parameters	df	F-ratio	*p*
Temperature	33	4.263	**
Salinity	33	4.520	**
COD	33	2.675	**
DIN	33	1.037	NS
DIP	33	0.734	NS
Chlorphyll a	33	2.524	*

NS, non-significant, *, $p<0.05$, **, $p<0.001$

가 보이지 않는 것은 좀 특이한 사항으로 여겨진다. 온대성 기후를 가진 우리나라는 수온과 염분은 강한 음의 상관관계를 보이는 것이 일반적인 남해안 특성으로 여겨지나, 하천에서 유입되는 담수의 양이 조사정점에 매우 강하게 영향이 미치고 있다는 사실이다. 또한 염분과 COD는 수온을 제외한 나머지 환경인자와는 상호 음·양으로 강한 상관관계를 보이는 것은 여름철 강우뿐만 아니라 육지로 흘러들어오는 육수의 영향이 남해안 전 해역에 미치는 영향이 예상보다 크다는 것을 암시해 준다.

Table 16. Multiple comparison of temperature, salinity, COD, and Chlorophyll *a* at different sampling sites in southern coastal waters during 2003 to 2005. The same superscript in each column indicates that means are not significantly different ($p<0.05$, Duncan test)

Station	Temperature	Salinity	COD	Chlorophyll *a*
1	18.7750^{d}	31.8774^{c}	1.2156^{a}	2.9822^{b}
2	18.7421^{d}	32.0075^{c}	1.3375^{b}	2.6590^{b}
3	18.9769^{d}	29.7524^{c}	1.3917^{b}	3.7021^{b}
4	19.4690^{d}	30.5449^{c}	1.6698^{b}	3.6125^{b}
5	18.2255^{d}	32.5379^{c}	1.0993^{a}	2.6446^{b}
6	18.1685^{d}	32.0912^{c}	1.5547^{b}	4.9541^{c}
7	18.9499^{d}	32.3153^{c}	1.5362^{b}	3.1058^{b}
8	18.8462^{d}	32.3402^{c}	1.3344^{b}	1.9463^{a}
9	18.9017^{d}	32.3338^{c}	1.1587^{a}	2.2421^{b}
10	18.1685^{d}	32.4275^{c}	1.4044^{b}	2.7053^{b}
11	19.1117^{d}	31.7990^{c}	1.6838^{b}	2.6988^{b}
12	19.5801^{d}	31.9423^{c}	1.3460^{b}	2.0171^{b}
13	19.3144^{d}	31.8689^{c}	1.4520^{b}	3.5651^{b}
14	19.0356^{d}	29.7870^{c}	1.3676^{b}	4.0467^{c}
15	18.6700^{d}	30.1567^{c}	1.4049^{b}	4.3287^{c}
16	18.7089^{d}	31.0571^{c}	1.6556^{b}	4.0185^{c}
17	18.8093^{d}	31.8493^{c}	1.2780^{a}	3.0669^{b}
18	18.9030^{d}	31.6500^{c}	1.3747^{b}	2.9323^{b}
19	18.6159^{d}	32.6103^{c}	1.0874^{a}	2.1287^{b}
20	18.4033^{d}	32.3293^{c}	1.0137^{a}	2.4402^{b}
21	19.1448^{d}	32.2004^{c}	1.0452^{a}	2.8681^{b}
22	18.3296^{d}	32.6911^{c}	0.9001^{a}	1.6831^{a}
23	18.7415^{d}	32.6252^{c}	1.0112^{a}	2.4742^{b}
24	18.8774^{d}	32.3789^{c}	1.0470^{a}	2.4096^{b}
25	19.5256^{d}	30.7941^{c}	1.6738^{b}	4.5227^{c}
26	19.3774^{d}	31.3770^{c}	1.4801^{b}	3.4285^{b}
27	19.2052^{d}	32.3352^{c}	1.1419^{a}	2.8336^{b}
28	18.5960^{d}	32.5889^{c}	0.9024^{a}	1.9692^{b}
29	18.5585^{d}	22.7068^{a}	2.5032^{b}	9.0410^{c}
30	18.1137^{d}	25.1920^{b}	1.9312^{b}	7.1558^{c}
31	17.5560^{b}	30.9314^{c}	0.9507^{a}	3.2904^{b}
32	17.2648^{a}	31.9371^{c}	0.8938^{a}	2.7199^{b}
33	17.9685^{c}	32.1729^{c}	0.9766^{a}	3.0683^{b}
34	17.9107^{c}	32.3900^{c}	0.9230^{a}	2.1646^{b}

Table 17. Pearson correlation between environmental parameters in southern coastal waters from 2003 to 2005

	Temperature	Salinity	COD	DIN	DIP	Chlorophyll *a*
Temperature	1	0.181	-0.013	-0.139	-0.127	0.125
Salinity	0.181	1	**-0.674**	**-0.392**	-0.107	**-0.367**
COD	-0.013	**-0.674**	1	**0.327**	0.279	**0.384**
DIN	-0.139	**-0.392**	**0.327**	1	-0.074	0.012
DIP	-0.127	-0.107	*0.279*	-0.074	1	0.002
Chlorophyll *a*	0.125	**-0.367**	**0.384**	0.012	0.002	1

Bold letters are significantly different ($p<0.001$), italic letters are significantly different ($p<0.01$)

4. 결 론

2003년부터 2005년까지 남해안 전 연안을 대상으로 수온, 염분, COD, 용존무기질소, 용존무기인, 클로로필에 대한 특성을 조사했다. 수온의 경우 각 정점별 차이는 없으나, 계절별로 현저한 차이가 나타났다. 2003년 평균수온은 18.33℃으로 매년 조금씩 상승하는 경향을 보이고 있으며 통계적으로도 유의적 차이를 보였다. 반면 염분은 매년 각 조사 정점별 뚜렷한 차이를 보일 뿐만 아니라 계절별로도 많은 변화가 나타났다. 수온처럼 2003년부터 2005년까지 매년 조금씩 높아지는 경향이 나타났다. COD는 3년 동안 1.7 mg l^{-1} 이하로 나타나 비교적 양호한 수질상태를 보이고 있다. 영양염류의 농도도 균질화된 분포보다 각 정점별, 계절별 많은 차이를 나타내고 있다. 클로로필은 매년 2.0 μg l^{-1} 이상을 보여 기초생물생산력은 높은 편이나, 시공간적으로 많은 차이를 보여주고 있다. 특히 남해동부해역 중 통영외안, 자란만, 진주만, 삼천포는 수질환경의 변동 폭이 다른 해역에 비하여 매우 높으므로 장기간 모니터링이 절실히 요구되는 바이다. 염분과 COD는 영양염류 및 클로로필과 음양으로 강한 상관관계를 보여 여름철 강우뿐만 아니라 하천으로부터 유입되는 하천수의 영향이 매우 큰 것으로 보여진다. 따라서 남해연안은 수산생물의 성장 및 번식에 적합한 형태로 형성되어 있지만, 해양환경의 변화는 시공간적으로 매우 높으므로 최근 빈번히 발생되고 있는 남해안 수산생물의 대량폐사 등에 대한 구조적 대응을 위하여 앞으로 지속적인 해양환경 모니터링이 요구된다.

감사의 글

이 연구는 국립수산과학원 (남해해양환경연구, RP-2008-ME-020)의 지원에 의해 운영되었습니다.

참 고 문 헌

1) 윤양호, 2003, 한국 남서해역의 식물플랑크톤 군집 출현 및 분포 특성, 여수대학교 수산과학연구소 논문집, 12, 1-17.
2) 윤양호, 1998, 완도 신지연안해역 식물플랑크톤 군집구조 특성, 여수대 논문집, 12, 651-664.
3) 윤양호, 2001, 저수온기 목포연안해역의 해양환경학적 특성 1. 수질환경과 기초생산에 영향을 미치는 환경요인 해석, 한국물환경학회지, 17, 1-13.
4) 박중현, 최정일, 최다미, 이용화, 이상룡, 2006, 목포항 주변 해역에서 장기 모니터링을 통한 수질의 계절 및 년간 변동, 해양환경안전학회, 11, 97-102.
5) 윤양호, 1998, 가막만 남부 화태연안의 식물플랑크톤 군집구조 특성, 여수대학교 수산과학연구소 연구보고, 7, 129-144.
6) 윤양호, 1999, 득량만 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포특성, 한국환경생물학회지, 17, 481-492.
7) 윤양호, 2000, 가막만 북서부해역 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포 특성, 여수대학교 수산과학연구소 연구보고, 7, 129-144.
8) Park H. S., Choi J. W., Lee S. L., 2000, Community structure of macrobenthic fauna under marine fish culture cages near Tongyong, southern coast of Korea, J. Kor. Fish. Soc., 33, 1-8.
9) 윤양호, 2000, 해창만의 생물해양학적 환경특성 1, 식물플랑크톤 군집구조와 계절변동, 한국수산학회지, 33, 43-50.
10) 윤양호, 박종식, 2000, 주성분분석에 의한 거금수도의 해양환경과 식물플랑크톤 변동 요인해석, 한국환경과학회지, 9, 1-11.
11) Shim J. H., 1990, Biological oceanography of the Gamagyang Bay-the Yeoja Bay water system (I), J.

Oceanol. Soc. Korea, 15, 89-99.
12) 김미경, 박정원, 2004, 백야도 연안의 동계 해양환경 특성에 따른 식물플랑크톤의 종조성과 군집 분석, Algae, 19, 247-255.
13) 이영식, 유준, 권기영, 최용규, 조은섭, 2004, 광양만에서 식물플랑크톤증식 제한영양염이 시·공간적 변동 특성, 대한환경공학회지, 26, 890-895.
14) 이진환, 윤수미, 2000, 여자만의 수질과 식물플랑크톤군집, Algae, 15, 89-98.
15) 조은섭, 김정배, 안경호, 유준, 권정노, 정창수, 2006, 2004년 한국 남해연안 해역에 출현하는 식물플랑크톤의 시·공간적 특성 조사, 한국환경과학회지, 15, 539-562.
16) 조은섭, 이상용, 김상수, 최윤석, 2007, 2004-2006년 6-10월 동안의 남해중부연안 해역특성 및 식물플랑크톤의 군집생태, 한국환경과학회지, 16, 941-957.
17) 해양수산부, 2002, 해양환경공정시험방법, 해양수산부, 330pp.
18) Moon T. S., Choi H. S., Lee H. G., 1992, Studies on the environment of finfish farming area in Tongyong, 1989 to 1990, Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 96, 97-118.
19) Lee J. M., Lee W. C., Park S. E., 1994, Studies on the environment of finfish farming area, Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 115, 1-12.
20) Ryther H. H., Dunstan W. M., 1971, Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment, Science, 171, 1008-1013.