

통영 양식장 해역의 식물플랑크톤 군집의 연간변동

임월애* · 이영식 · 강영실¹ · 김성수² · 김성연³ · 최혜승 · 허영백 · 이태식⁴ · 이재영⁵

*국립수산과학원 남동해수산연구소

¹국립수산과학원 동해수산연구소

²해양환경관리공단

³국립수산과학원 연구기획부

⁴국립수산과학원 서해수산연구소

⁵국도해양부 해양환경정책과

Inter-annual Variation of Phytoplankton Community Structure in Aquacultural Areas of Tongyeong, SE Coastal Waters of Korea

WEOL AE LIM*, YOUNG SIK LEE, YOUNG SIL KANG¹, SEONG-SOO KIM², SEONG HYUN KIM³,
HYE SUNG CHOI, HUR YOUNG BAEK, TAE SEEK LEE⁴ AND JAE YOUNG LEE⁵

*Southeast Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Tongyeong 650-943, Korea

¹East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangneung 210-861, Korea,

²Korea Marine Environment Management Corporation, Seoul 135-870, Korea

³Research and Development Planning Department, NFRDI, Busan 619-705, Korea

⁴West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea

⁵Marine Environment Policy Division, The Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Gyeonggi-Do 427-712, Korea

식물플랑크톤 군집은 그 해역의 환경특성을 잘 설명해 줄 수 있는 인자 중의 하나이다. 본 연구에서는 양식장 해역의 수질환경과 식물플랑크톤 군집의 연간 변동을 파악하고, 이를 기초로 해역별 환경 특성을 파악하고자 하였다. 2009년 1월에서 12월까지 매월 통영연안인 원문만, 한산만, 미륵도, 옥지도, 사랑도 및 도산-평림해역의 30개 정점에서 식물플랑크톤 종조성과 수온, 염분, 영양염 및 chlorophyll *a*를 조사하였다. 수질환경 중 용존무기질소는 1, 2월과 12월, 용존무기인은 1, 2월, chl-*a*는 7월~10월이 가장 높았다. 식물플랑크톤 군집은 *Chaetoceros* spp.와 미동정된 소형 편모조류는 연중 우점하였고, 여름인 6~10월은 *Pseudo-nitzschia* spp., *Dictyocha* spp., *Nitzschia longissima*가 우점종으로 출현하였으며 그 밖의 계절은 *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* spp., *Eucampia zodiacus*, *Akashiwo sanguinea*, *Gymnodinium* spp., *Asterionella japonicus*가 우점 출현하였다. 정점별로는 한산만, 사랑도 북동쪽에서 외편모조적조가 3회 발생하였으며, chl-*a*는 한산만에서 가장 높게 나타났다. 종다양성 지수는 원문만, 한산만과 도산-평림해역에서 낮게 나타났고, 규조류와 외편모조류의 비율은 미륵도 서측해역에서 높았다. 우점식물플랑크톤의 출현은 각 해역의 시-공간적 특성을 나타내었으며, 최근 수온상승과 강우에 의한 식물플랑크톤 군집 변동도 예측되었다.

Abstract – Phytoplankton community structure is one of the indicators that can explain the environmental characteristics of coastal waters. In this study, phytoplankton community structure and water quality of aquaculture area were investigated for understanding regional environmental characteristics. Thirty stations in aquaculture areas of Tongyeong, southeast coast of Korea, were investigated monthly from January to December, 2009. Phytoplankton community, meteorologic data and environment factors including temperature, salinity, transparency, nutrients and chlorophyll *a* were also examined. *Chaetoceros* spp. and unidentified small flagellates were dominant species in all the year round. *Pseudo-nitzschia* spp., *Dictyocha* spp., and *Nitzschia longissima* were dominant in June to October being summer season, and *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* spp., *Eucampia zodiacus*, *Akashiwo sanguinea*, *Gymnodinium* spp. and *Asterionella japonicus* appeared as dominant species in the rest of months. Dinoflagellate blooms occurred 3 times in near Hansan Bay and around Saryang-do, and the highest chlorophyll *a* was found in Hansan Bay. Species diversity of phytoplankton was lower in Hansan and Womum Bay, and diatom was more abundant than dinoflagellates in Mireuk-do waters. These results showed that phytoplankton community varied by the seasonal and geographical characteristics, and recent increase of water temperature and heavy rain may affect on phytoplankton community structure.

Keywords: Phytoplankton, Environmental Factors, Tongyeong, Aquaculture Area

*Corresponding author: jylee0403@korea.kr

서론

우리나라 남동해에 위치한 통영 해역은 삼면이 육지로 둘러싸여 있고 남쪽해역만 외해와 연결되어 있으며 많은 섬들이 위치하는 지형학적 특성에 의해 안정된 수괴가 유지됨으로써 양식 활동의 적지로 인정되어 1970년대부터 어패류양식이 매우 발달하였으며, 우리나라 전체 양식생산의 70%이상을 차지하고 있다(경상남도, 2009). 패류의 경우 1960년대 말 일본으로부터 수하식 양식법이 도입되어 굴수하식 양식이 경상남도 일원해역을 중심으로 활발하게 시작되었다(Cho, 1991). 그러나 장기간의 어장 이용으로 인한 자가오염 부하와 이에 의한 어장환경 악화 그리고 환경용량을 초과한 시설의 증대로 양식생물의 생존 및 성장률이 저하되어 생산량이 감소하고 있다(Cho and Park, 1983; Choi *et al.*, 1997; Kang *et al.*, 2000). 이와 같은 이유로 양식어장의 지속적인 개발과 이용을 위해서는 해역의 환경용량(carrying capacity)과 생태계 관리에 관한 연구에 집중해야 할 필요성이 크다(Lee *et al.*, 2002). 이때패류의 성장은 먹이환경과 상호 밀접한 관계를 갖기 때문에 먹이원과 먹이원이 성장하는 해양환경요인의 영향을 평가하는 것이 매우 중요하다(Kang *et al.*, 2000; Kang *et al.*, 2009). 최근 조사해역에서 굴의 경우 흑변굴, 녹변굴, 적변굴 등의 다양한 체색이 나타나고 있으나 아직 정확한 원인 규명은 되지 않고 단지, 이들 변색한 굴의 위대강과 아가미에 chlorophyll *a*(chl-*a*) 함량이 높은 것으로 볼 때 식물플랑크톤에 기인한 것으로 추정하고 있다. 외국의 경우 프랑스 연안 적변굴(red coloration oysters) 발생은 높은 밀도의 은편모조류(cryptophyte)를 섭이한 것으로 밝혀졌으며(Pastoureaud *et al.*, 2003), 그 밖에도 쓴맛굴 등이 먹이생물에 따라 나타난다고 알려져 있으며(Lee, 1995), 이러한 변화들은 굴의 품질 저하의 원인이 되어 상품가치를 떨어뜨리고 있다. 또한 미세조류의 대증식은 굴의 대량폐사를 일으키며(Sato *et al.*, 2002; Negri *et al.*, 2004), 어류양식장의 경우에도 식물플랑크톤의 대량증식으로 용존산소 감소 또는 스트레스로 어류가 대량폐사하고 있다. 1995년 이후 외편모조류 *Cochlodinium polykrikoides*에 의한 적조발생은 막대한 경제적 손실을 입고 있다(NFRDI, 1999; NFRDI,

2000). 인간활동에 의한 어장환경의 악화와 이로 인한 식물플랑크톤의 군집변동은 양식생산 활동을 어렵게 하고 있다. 여기에 더하여 연안의 수온 상승으로 인한 해양환경 변화가 나타나고 있으며(Suh *et al.*, 2003; Chung *et al.*, 2004), 이러한 변화는 해양생태계에 영향을 미치고 있다(Rebstock and Kang, 2003). 식물플랑크톤의 군집 변동은 그 해역의 환경에 따라 달라짐으로 그 해역의 특성을 나타내는 지시자(indicator)로써 유용하다고 알려져 있다(Hecky and Kilham, 1988; Heckey *et al.*, 1993). 본 조사해역은 오염원의 영향에 따라 육상 오염원의 유입이 많은 내만 해역, 양식장 오염원으로 부영양된 연안 해역 및 외양수의 영향을 많이 받는 근해해역으로 크게 나누어 볼 수 있다. 이러한 정점들의 해양환경 특성은 일반적인 해양환경인자인 수온, 염분 및 영양염 등으로 그 특성을 설명하기에는 다소 무리가 있어 왔다. 본 연구는 양식장 인근해역에서의 식물플랑크톤의 시·공간적 군집변동을 파악하여 어장환경 특성을 설명하고자 한다.

재료 및 방법

통영 주변해역 30개 정점에서 2009년 1월부터 12월까지 매월 1회 조사를 실시하여 식물플랑크톤 군집변동과 해양환경변동을 조사하였다. 조사해역은 크게 원문만(정점 1~4), 한산만(정점 5~13), 미륵도연안(정점 14~18), 육지도해역(정점 19~21), 사량도해역(정점 22~25), 도산·평림해역(정점 26~30)의 6개 해역으로 나누었다(Fig. 1A). Fig 1B의 정점들은 어패류양식장을 나타내며, 대부분은 패류양식장이거나, 한산만, 미륵도 및 도산·평림·도산 평림해역은 어류양식장이 산재하여 있다.

수온, 염분은 CTD(IDRONAUT Srl 316 Plus)를 사용하여 관측하였으며, 영양염 분석을 위해 3L Niskin 채수기를 이용하여 채수하였다. 용존 무기영양염류의 측정은 450 °C에서 태운 GF/F필터(Whatman, Ltd. Maidstone, England)로 여과한 후 분석 전까지 -70 °C에서 냉동 보관한 후 분광광도법으로 분석하였다(Parsons *et al.*, 1984). chlorophyll *a*(chl-*a*) 농도는 해수 500 mL를 0.45 µm membrane filter(Whatman, Ltd. Maidstone, England)로 여과 후,

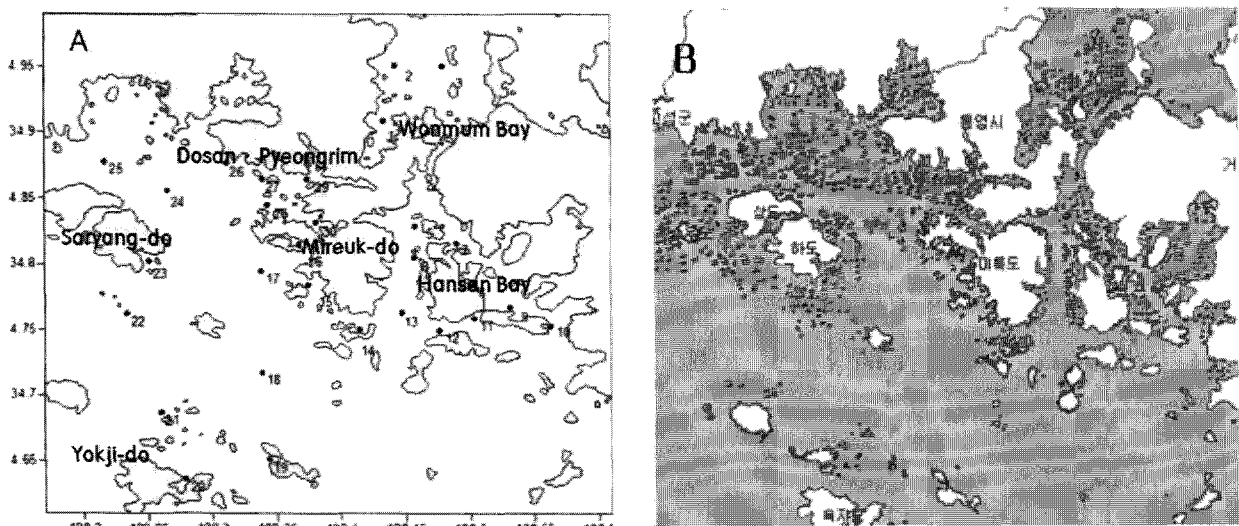


Fig. 1. Map showing 30 sampling stations(A) and distribution of aquaculture farms in the coastal waters of Tongyeong(B).

90% acetone으로 엽록소를 24시간 추출하고 이를 분광광도계(UV-visible Spectrophotometer Varian Tech. Cary 300 Conc.)로 분석하였다(Parsons *et al.*, 1984). 투명도(transparency)는 직경 30 cm의 투명도판(secchi disk)을 이용하여 선상에서 육안으로 측정하였다. 식물플랑크톤 중 조성과 정량분석은 현장 표층수를 사용하였다. 현장에서 해수 1 L를 채수하여 산성 Lugol 용액으로 최종농도 2%가 되게 고정된 후, 실험실로 옮겨 침전법에 의하여 농축하였다. 식물플랑크톤의 종동정은 Yamaji(1984)와 Tomas(1997)를 참고하여 동정하였으며, 종다양성지수는 Shannon-Wiener index(Shannon and Wiener, 1963)로 계산하였다. 조사 시기에 따른 환경요인의 변동을 조사하기 위하여 일원분산분석(one-way ANOVA)법으로 각 조사 시기 환경요인들의 평균값 차이를 검정하고, Duncan의 사후분석(Post Hoc Multiple comparisons)을 수행하여 조사 시기에 따른 차이를 검정하였다(SPSS Inc., 2003). 식물플랑크톤 우점종은 각 조사시기별 총 출현 개체수의 순위를 정하여, 그 중 5% 이상 차지하는 종으로 하였다.

결과 및 고찰

해양환경

2009년 조사해역의 월별 해양환경 특성은 Table 1에 나타내었다. 표층수온은 9월이 24.75±0.78 °C로 가장 높았으며, 1월이 9.69±1.93 °C로 가장 낮았다. 염분은 8월이 30.32±1.28psu로 가장 낮았으며, 1~5월까지의 33.78±0.27~34.00±0.29psu로 높은 값을 나타내었다. 용존무기질소(Dissolved Inorganic Nitrogen; DIN)는 12월이 13.86 ±4.0 μM로 가장 높았고 1월과 2월이 10.55±4.11, 11.56±5.64 μM로 그 다음으로 높게 나타났으며, 3~9월이 2.48±1.42~3.49±1.65 μM로 낮게 나타나 겨울이 다른 계절에 비해 높은 DIN 농도를 나타내었다. 용존무기인(Dissolved Inorganic Phosphate; DOP)은 2월이 2.29±0.93 μM로 가장 높았으며, 1월도 2.04±0.45 μM로 높게 나타났으나, 3월부터 9월까지는 0.16±0.17~0.44±0.42 μM로 낮은 농도를 보여 DIN과 유사하게 겨울이 높은 농도를 보였다. 투명도는 1월에서 3월이 5.1±1.58~5.7±1.3 m로 깊었으며, 7월에서 11월이 3.2±1.52~4.1±1.9m로 낮게 나타나 겨울의 투명도가 다른

계절 보다 깊었다. chl-*a*는 여름과 가을인 7~10월에 높게 나타났으며, 특히 9월에 3.98±3.23 μg/L로 가장 높았으며, 12월에 0.22±0.16 μg/L로 가장 낮게 나타났다. 해양환경 요인들의 연평균 수평분포를 Fig. 2에 나타내었다. 수온은 한산만 정점에서 낮았으며, 미륵도 서편 정점에서 높았다. 염분은 원문만 해역에서 낮았으며 한산만 바깥해역으로 갈수록 염분이 높아졌다. DIN은 미륵도 및 한산만 남쪽 해역에서 높게 나타났으며, DIP는 사랑도 북쪽 해역이 비교적 높게 나타났다. 투명도는 한산만, 원문만과 육지도 해역에서 높았으며, chl-*a*는 원문만, 한산만과 미륵도 주변에서 높게 나타났다.

식물플랑크톤

전체 조사기간 중 식물플랑크톤은 총 157종이 동정되었으며, 그 중 규조강(Bacillariophyceae)은 41속 96종, 외편모조강(Dinophyceae) 25속 56종, 뉴클레나조강(Euglenophyceae) 1속 1종, 황색편모조강(Chrysophyceae) 2속 2종, 침편모조강(Raphidophyceae) 1속 1종이 출현하였으며, 은편모조강(Cryptophyceae)은 미동정된 소형편모조류로 1속으로 분류하였다. 이들 중 규조강이 가장 우점하였으며, 외편모조강이 다음순으로 나타났다. 조사시기별 식물플랑크톤의 전체정점의 총 현존량은 7~9월에 24,144~40,642 cells/mL로 높게 나타났으며, 종다양성지수(H')는 6월이 2.4±0.2로 가장 높았으며, 5월이 1.1±0.45로 가장 낮았다(Fig. 3). 월별 우점 식물플랑크톤은 각 조사 시기별 총 출현 개체수의 순위를 정하여, 그 중 5% 이상 차지하는 종으로 하였다. 연중 출현하는 종은 *Chaetoceros* spp.와 미동정된 소형 편모조류(flagellates)였으며, 저수온기인 1~4월과 12월에는 주로 *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* spp., *Eucampia zodiacus*, *Akashiwo sanguinea*, *Gymnodinium* spp., *Asterionella japonicus*, 고수온기인 6~10월은 *Pseudo-nitzschia* spp., *Dictyocha* spp., *Nitzschia longissima*가 우점 출현하였다(Fig. 4). 식물플랑크톤 군집은 해양환경과 해역에 따라 크게 달라지며, 이에 따라 이들의 군집 특성은 해역의 환경특성을 반영하는 것으로 알려져 있다(Hecky and Kilham, 1988; Heckey *et al.*, 1993). 또한 식물플랑크톤을 포함한 입자태 유기물질의 생화학조성은 이들을 포식하는 동물들의 먹이로서의 질을 나타낼 수 있을 뿐 아

Table 1. Temporal variations of surface water temperature, salinity, DIN, DIP, Chlorophyll a and transparency from January to December. Data represent mean±SD, Duncan multiple comparison test. The same superscript letter following means indicates no significant difference among mean values of environmental variables at each column (Duncan's multiple comparison, P<0.05, a<b<c<d<e<f<g)

Survey(n)	Water temperature (°C)	Salinity (psu)	DIN (μM)	DIP (μM)	Transparency (M)	Chl. a (μg/L)
Jan.(30)	9.69±1.93 ^a	33.81±0.28 ^{fg}	10.55±4.11 ^c	2.04±0.45 ^d	5.7±1.3 ^c	0.84±0.24 ^{ab}
Feb.(30)	10.07±1.43 ^a	33.94±0.25 ^e	11.56±5.64 ^c	2.29±0.93 ^e	5.1±1.5 ^{cd}	1.01±0.47 ^{abc}
Mar.(30)	10.93±1.23 ^b	33.94±0.32 ^e	3.00±2.77 ^a	0.16±0.17 ^a	5.6±1.8 ^e	1.96±1.10 ^{cd}
Apr.(30)	12.2±0.61 ^c	34.00±0.29 ^{ef}	3.49±1.65 ^a	0.18±0.21 ^{ab}	4.3±1.2 ^{bc}	1.03±0.60 ^{abc}
May(30)	16.63±1.27 ^e	33.79±0.27 ^{fg}	2.86±1.51 ^a	0.19±0.21 ^{ab}	5.2±1.3 ^{cd}	1.69±1.16 ^{bcd}
Jun.(30)	18.72±1.24 ^f	33.54±0.21 ^e	2.58±2.09 ^a	0.39±0.53 ^{ab}	4.5±0.9 ^{bc}	1.17±0.54 ^{abc}
Jul.(30)	21.66±1.51 ^h	32.61±0.49 ^e	2.71±2.01 ^a	0.44±0.42 ^b	3.9±1.3 ^{ab}	2.99±2.44 ^{ef}
Aug.(30)	24.08±0.53 ⁱ	30.33±1.28 ^a	2.48±1.42 ^a	0.28±0.22 ^{ab}	4.1±1.9 ^{ab}	3.14±2.83 ^{ef}
Sep.(30)	24.75±0.78 ^j	31.46±0.65 ^b	2.66±3.12 ^a	0.37±0.30 ^{ab}	3.8±1.5 ^{ab}	3.98±3.23 ^f
Oct.(30)	20.65±0.69 ^h	32.72±0.52 ^c	6.79±3.32 ^b	0.72±0.33 ^c	3.2±1.5 ^a	2.97±3.40 ^{ef}
Nov.(30)	16.77±0.46 ^e	33.18±0.32 ^d	6.61±2.96 ^b	0.70±0.58 ^c	4.3±3.1 ^a	2.25±1.37 ^{de}
Dec.(30)	13.46±1.04 ^d	33.32±0.18 ^{de}	13.86±4.0 ^d	0.74±0.58 ^c	4.3±3.1 ^{bc}	0.22±0.16 ^a

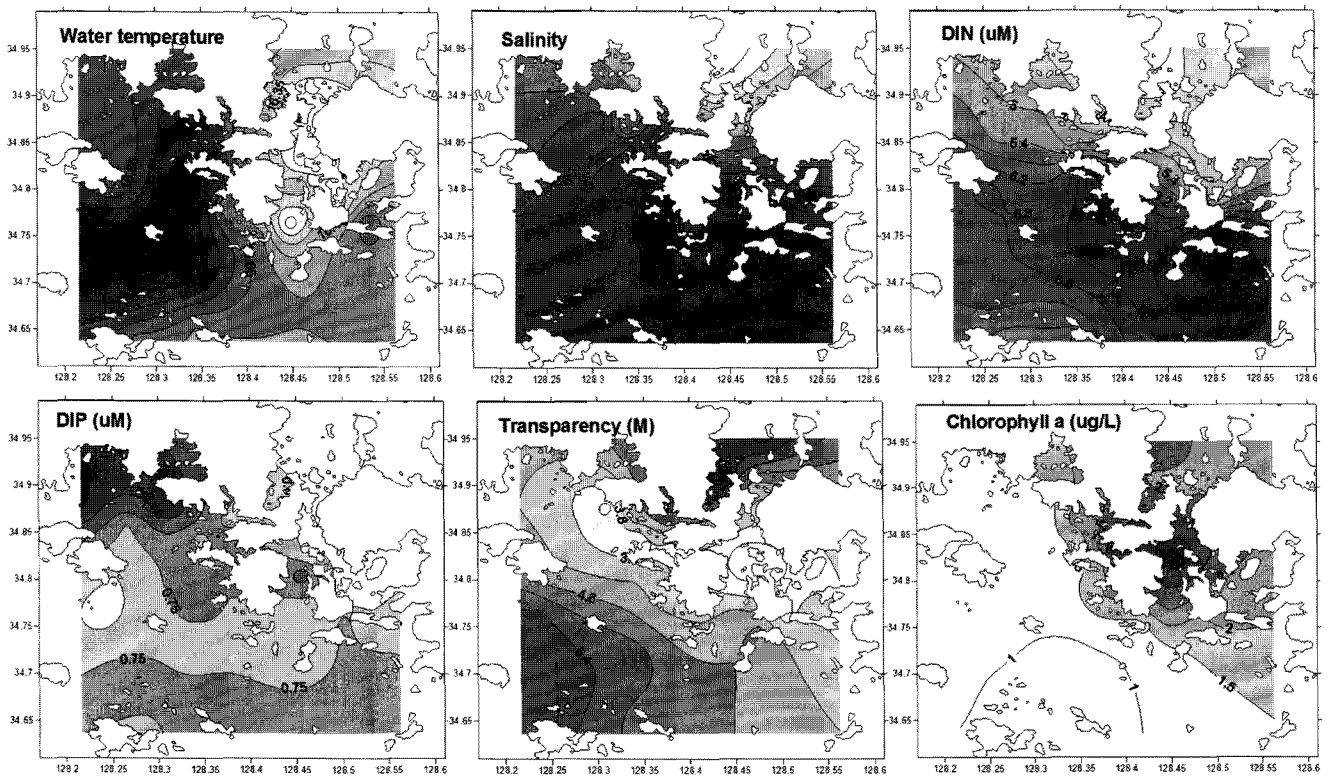


Fig. 2. Horizontal distribution of annual mean of water temperature, salinity, DIN, DIP, transparency and chlorophyll a in 2009.

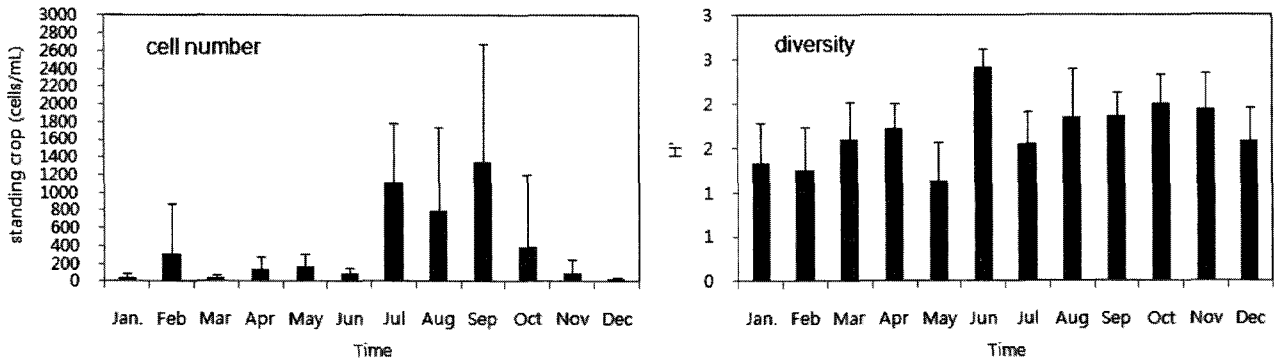


Fig. 3. Inter-annual variation of standing crop and species diversity which were calculated by mean value(mean±SD) of 30 stations in every month.

나라(Widdows *et al.*, 1979; Navarro *et al.*, 1993) 기초 생산자군을 위한 영양염 제한과 이들의 생리·생태 및 해역 부영양화 상태를 평가할 수 있는 유용한 지시자로 사용될 수 있다(Healey, 1975; Barlow, 1980; Dortch and Packard, 1989). 조사해역은 지형학적 특성에 따라 해류의 이동이 제한적이고 부영양화된 반폐쇄 내만인 원문만, 개방해역이나 어·패류 양식어장이 많이 산재한 미륵도와 한산만해역, 외해수의 영향을 많이 받는 사랑도와 육지도해역으로 크게 나눌 수 있으며 이들 조사정점은 지리적으로 매우 근접하나, 정점별 화학·물리 특성이 매우 다르게 나타나 생물학적으로는 식물플랑크톤의 군집구조에도 큰 영향을 미칠 것으로 판단되었다. 부영양화된 해역의 높은 chl-a 농도, 빈번한 적조발생은 양식생물의 폐사의 원인이 되며, 빈산소수괴 형성 등의 원인으로 작용한다. 외해수가 영향을 많이 미치는 해역은 낮은 영양염 농도로 인하여 식물플랑크톤 현존량이 낮아 밀식된 패류양식장에서의

먹이생물 부족에 의한 폐사, 성장 지연 등이 발생한다.

조사 시기별 해양환경 특성을 보면 7월 다량의 강우 후 8월에 가장 낮은 염분을 보였으며, 9월에서 10월까지 그 영향이 지속되었다. 영양염인 DIN과 DIP는 3~9월 까지 가장 낮은 농도를 나타내었다(Table 1). 그러나 chl-a 농도와 식물플랑크톤 현존량은 7~8월에 가장 높게 나타났다(Table 1, Fig. 4). 이는 봄철 식물플랑크톤이 증식되면서 영양염 농도가 낮아졌으며, 7월 강우로 유입된 영양염 또한 이들 식물플랑크톤 군집의 증식에 지속적으로 사용되어 낮은 농도가 유지되었다. 또한 11월 이후 chl-a 농도가 감소하면서 다시 영양염 농도가 증가하는 사실을 알 수 있다. 조사 정점별 특성은 원문만과 한산만이 다른 해역에 비해 수온이 낮게 나타났다, 염분은 원문만이 낮은 것으로 나타났다. 투명도는 육지도와 사랑도 및 원문만에서 높게 나타났는데, 원문만의 경우 여름철 빈번한 빈산소수괴 출현에 기인한 것으로 보인다. chl-a는 한산만

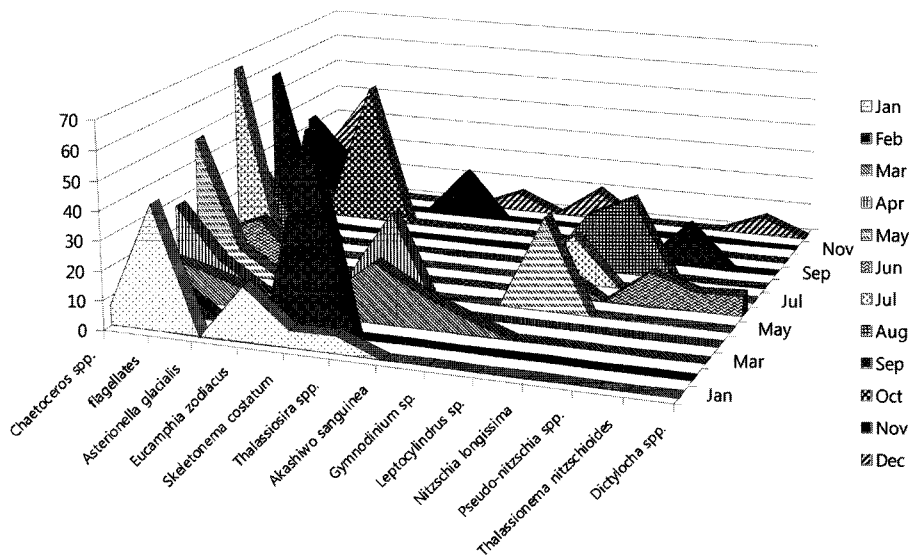


Fig. 4. Inter-annual variation of dominant phytoplankton species (> 5% of numerical abundance) in each survey.

이 가장 높은 것으로 나타났으며 3월 외편모조류인 *Akashiwo sanguinea* 적조가 발생하였다. 3월의 낮은 영양염 농도를 고려해 볼 때 *A. sanguinea* 적조는 이 지역 어류양식어장의 어분과 사료 등에 의한 유기오염물과 관련이 있는 것으로 판단된다. 식물플랑크톤은 해양환경과 밀접한 관계를 가지고 있는 생물군으로 무기 영양염의 부영양화는 독립영양형 식물플랑크톤인 규조류의 우점을 유도하는 반면 유기오염원의 축적은 혼합영양형 식물플랑크톤인 편모조류의 우점을 유도한다(Laybourn-Parry, 1992). 한산만 해역의 많은 어패류양식장의 유기물 기원과 외편모조류의 적조발생과는 매우 관련성이 있을 것으로 보인다.

국내·외에서 부유생물을 이용한 해양환경평가가 이루어지고 있으며, 정확한 해양환경평가를 위한 지표물 찾기를 위한 노력을 하고 있다(Xu *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2007b). 앞서 언급했듯이 본 조사해역은 해양환경 상태와 양식산업과는 밀접한 관련을 가지고 있어 해역의 정확한 환경 평가가 필요하다. 본 연구에서는 적조발생 빈도, chl-*a* 농도, 종다양성, 출현종 특성 및 규조류와 외편모류 비율 등의 식물플랑크톤 군집 변동특성을 고려하였다.

조사 기간 동안 1~3월까지 한산-거제만 해역에서 외편모조류 *Akashiwo sanguinea* 적조, 8월 11~13일 사랑도-미륵도 사이의 해역에서 외편모조류 *Gonyaulax spinifera* 적조, 및 11월 3일 서측 수우도 해역에서 외편모조류 *Cochlodinium polykrikoides* 적조가 발생하였다(Fig. 5)(NFRDI, 2009). 연안해역에 유입되는 질소, 인과 같은 무기영양염의 과도한 공급은 식물플랑크톤의 대량 발생을 야기하고 chl-*a*의 농도를 증가시킨다. 적조가 발생한 3개 해역은 어류양식장이나 육상으로부터의 영향이 큰 지역으로, 한산만 중 정점 5, 6과 13은 낮은 수온과 조밀한 염분구배, 낮은 투명도 및 연평균 chl-*a* 농도가 가장 높은 해역으로 나타났다. 특히, 여름철 식물플랑크톤 종조성과 chl-*a* 양은 양식패류의 성장과 높은 관련성이 있다(Choi *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2001). Kang *et al.*, (2000)은 자란만과 한산-거제만의 양식 굴의 생화학적 조성, 재생산 및 계절변화를 연구한 결과 반폐쇄성 내만인 자란만이 개방형 한산-거제만 보다 높은 chl-*a*로 양식굴의 먹이 이용률(food availability)이 높아 성장이 높은 것으로 나타났다. 본 조사에서도

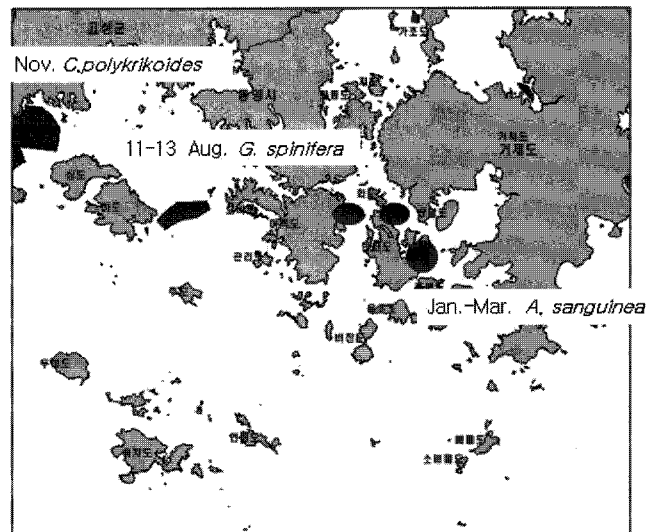


Fig. 5. The events of red tides around study area during survey period.

개방형 해역인 옥지, 사랑해역보다는 반 폐쇄성 내만인 원문만, 한산만, 미륵도 및 도산-평립해역은 많은 굴양식장이 산재해 있으며, 높은 chl-*a* 농도를 보였다.

일반적으로 종 다양성 지수가 낮은 수역은 상대적으로 오염도가 높으며 반대로 높은 다양성지수 값은 다양한 생물서식에 적합한 건강수역을 반영한다고 알려져 있다. 수심이 낮고 수괴가 정체되어 있는 부영양수역은 유리한 경쟁자의 빠른 증식에 의한 단일 종 우점에 유리한 환경이라 언급하고 있다(Reynolds, 1988; Smayda, 2002). 본 조사해역은 연평균 종다양성이 내만이나 육상의 영향을 많이 받는 원문만, 북신만, 미륵도 서측해역과 한산만의 정점 6, 9와 11에서 식물플랑크톤의 종 다양성 지수가 낮게 나타났다(Fig. 6A). 규조류와 외편모조류의 비율은 오염된 해역일 경우 외편모조류의 비율이 높고 그렇지 않은 해역은 규조류의 비율이 높은 것으로 알려져 있다. 미륵도 서측해역이 규조류:외편모조류의 개체 수 비율이 높게 나타났으며, 규조류의 점유율이 높아 오염이 덜

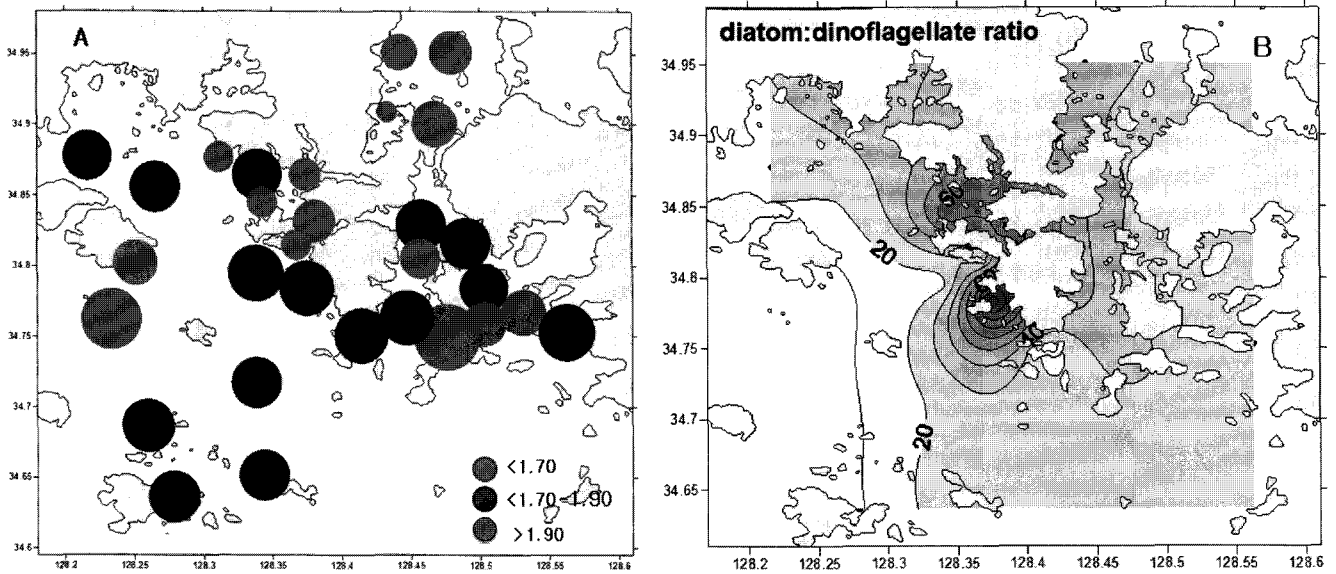


Fig. 6. Horizontal distribution of species diversity of phytoplankton(A) and diatom versus dinoflagellate ratio(B) in study area. The data values were obtained from annual mean of each month value.

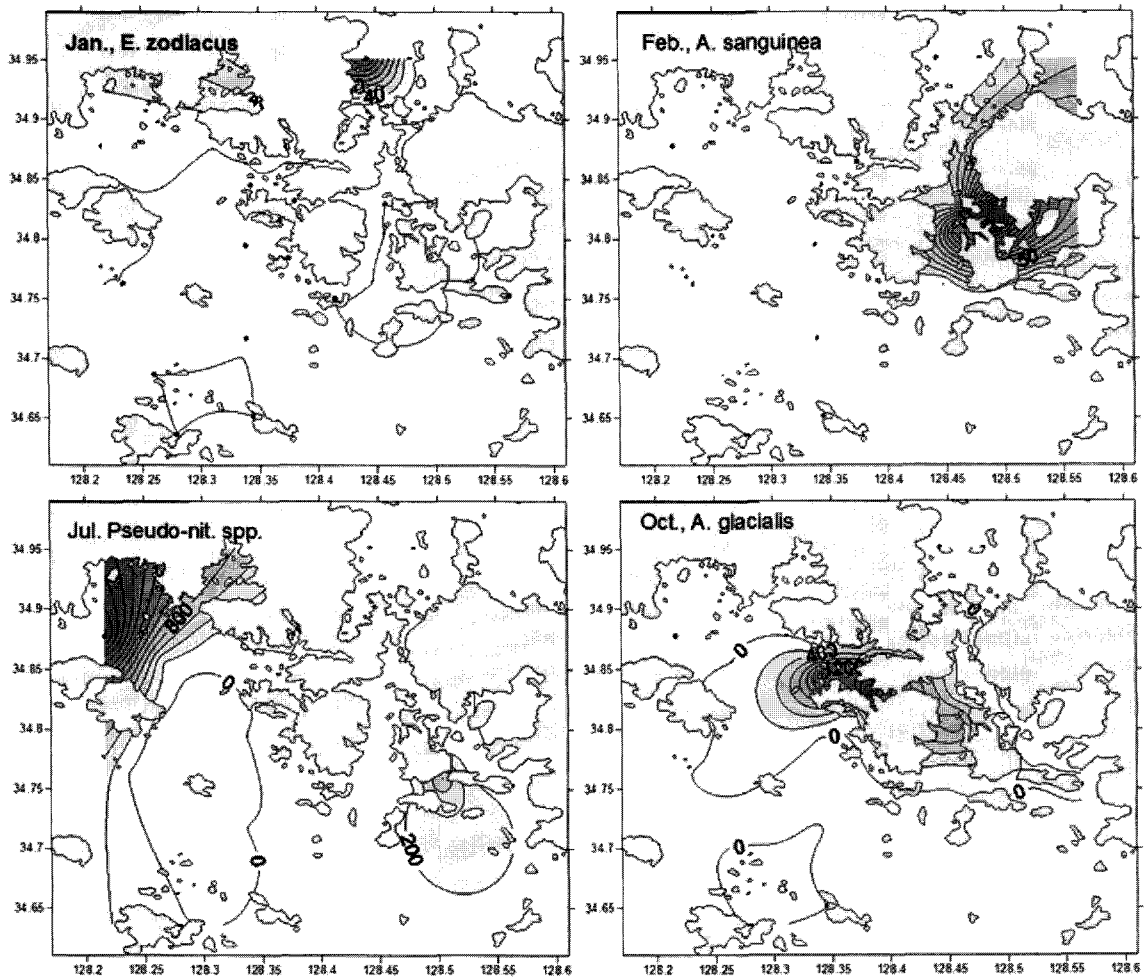


Fig. 7. Horizontal distribution of dominant species in January, February, July and October.

진행된 해역으로 나타났다(Fig. 6B).

각 시기별 대표적인 우점종 출현을 보면 *Eucampia zodiacus*는

1, 2월 원문만, *Akashiwo sanguinea*는 1~3월 한산만, *Pseudo-nitzschia* spp.는 6~8월 미루도 서측 연안, *Asterionella glacialis*는

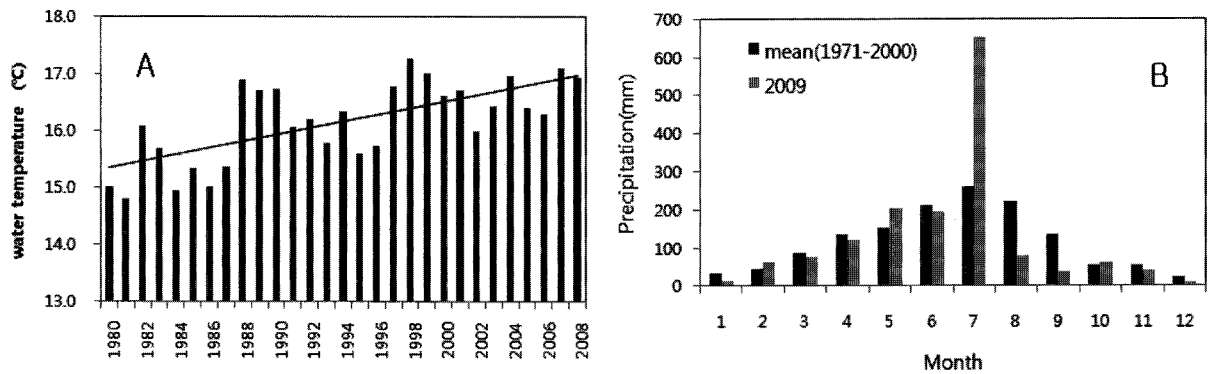


Fig. 8. Two decadal trend of water temperature in coastal stationary station of Tongyeong in NFRDI from 1980 to 2008(A) and the comparison of precipitation between 2009 and mean(1971~2000)(B).

10월 도산-평립해역에서 우점 출현하였다(Fig. 7). 이 종들은 부영양화된 해역에서 주로 출현하는 종으로 시·공간적 분포가 뚜렷하게 나타났다. 이들 종들의 출현은 그 해역의 환경 특성을 잘 반영할 수 있는 것으로 보인다. 예로 규조류 3종은 육수의 영향을 받는 해역에서 우점을 보였으며, 외편모조류인 *A. sanguinea*는 다른 환경에서 출현한 것을 앞서 언급하였다. 그러나 이들종이 어떠한 요인에 의해 특정 해역에서 우점으로 출현하는가는 앞으로 연구되어야 할 것으로 생각된다.

양식어장에서의 식물플랑크톤의 종다양성 지수, 적조의 발생 빈도와 높은 chl-*a* 농도는 무기영양염에 의한 환경오염 뿐 아니라 해양생태계 건강성과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2007a; Kim *et al.*, 2007b). 양식생물의 성장이 느리거나 폐사가 빈번히 발생하는 해역은 위에 언급된 부영양화 환경들과도 일치하며 양식활동의 적지로서 바람직하지 않은 것으로 판단된다. 본 조사에서는 한산만, 원문만, 복신만 해역은 해역 식물플랑크톤의 출현 특성으로 볼 때 다른 조사해역에 비해 부영양화된 해역으로 나타났다.

국립수산과학원의 연안정지관측지점인 통영 산양읍 영운리 지점의 장기 수온 변동을 보면 1980년부터 현재까지 수온이 증가하는 경향을 보인다(Fig. 8A). 한반도의 기후는 열대성 집중호우가 빈발하고 장마가 불분명해지는 등 아열대 기후 특성을 보이거나 때로는 심각한 여름 가뭄이 지속 되는 등 해마다 기상 특성이 크게 달라져 예측이 매우 어렵다. 실제로 2009년 통영해역의 강수량의 월별 변동을 살펴보면 7월 강수량은 평균강수량(1971~2000년, KMA, 2009) 보다 2배 이상이었으나, 8월과 9월의 강수량은 2배 이하로 낮게 나타났다(Fig. 8B). 이와 같은 수온과 기상의 급격한 변화는 식물플랑크톤 중 천이와 군집변동과 밀접한 상관관계를 가진 것으로 알려져 있다(Hashioka and Yamanaka, 2007), 이에 따라 본 조사해역에서도 수온과 강우에 따른 부유생물 군집 구조 및 현존량에 변동이 있을 것으로 생각된다.

연안양식과 같은 연안역의 활용 측면에서의 해양환경의 건강성 유지는 더욱 어려워지고 있다. 식물플랑크톤의 군집 변동만으로써 어장환경의 특성을 단정 짓기는 매우 어려우며, 본 조사는 부유생물의 특성에 따른 조사해역 정점간의 상대비교와 국지적인 해역 특성을 간단하게 설명하였다. 또한 편모조류의 대량 발생과 관련성을 밝히기 위해서는 유기오염에 관한 항목이 추가되어야 하며

많은 양식어장의 배설물, 사체 및 사료 등의 원지성(autochthonous) 유기물의 변동 파악은 무기영양염으로 설명할 수 없었던 식물플랑크톤 군집변동을 설명할 수 있는 주요한 요소로 생각된다. 따라서 지속적인 식물플랑크톤과 이들의 변동을 설명해 줄 수 있는 해양환경요소들의 지속적 모니터링은 앞으로의 어장환경의 특성을 파악하고 지속가능한 양식산업을 위한 기초자료로서 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 국립수산과학원 시험연구사업비(RP-2010-ME-032)로 운영되었으며, 현장조사를 도와주신 김지희 연구관님, 심길보, 하광수 연구사와 탐구19호 승무원들께 감사드립니다.

참고문헌

- 경상남도, 2009. 2009년도 해양수산현황. pp.362.
- Barlow, R.G., 1980. The biochemical composition of phytoplankton in an upwelling region off South Africa. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **45**: 83-93.
- Cho, C.H., 1991. Contribution and future direction in the study of aquacultural oceanography in Jinhae Bay, Korea. *J. Aquaculture*, **4**: 129-136.
- Cho, C.H. and K.Y. Park, 1983. Eutrophication of bottom mud in shellfish farms, the Goseong-Jaran Bay. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **16**: 260-264.
- Choi, W.J., Y.Y. Chun, J.H. Park and Y.C. Park, 1997. The influence of environmental characteristics on the fatness of pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in Hansan-Koke Bay. *J. Kor. Fish. Soc.*, **30**: 794-803.
- Chung, Y.S., M.B. Yoon and H.S. Kim, 2004. On climate variations and changes observed in South Korea. *Climatic Change*, **66**: 151-161.
- Dortch, Q. and T.T. Packard, 1989. Differences in biomass structure between oligotrophic and eutrophic marine ecosystem. *Deep-Sea Res.*, **36**: 223-240.
- Hashioka, T. and Y. Yamanaka, 2007. Ecosystem change in the western North Pacific associated with global warming using 3D-

- NEMURO. Ecological Modelling, **202**: 95–104.
- Healey, F.P., 1975. Physiological indicators of nutrient deficiency in algae. Fsh. Mar. Serv. Res. Dev. Tech. Rep., 585, pp. 30.
- Hecky, R.E., P. Campbell and L.L. Hendzel, 1993. The stoichiometry of carbon, nitrogen, and phosphorus in particulate matter of lakes and oceans. Limnol. Oceanogr., **38**: 709–724.
- Hecky, R.E. and P. Kilham, 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments; A review of recent evidence on the effects of enrichment. Limnol. Oceanogr., **33**: 796–822.
- Kang, C.K., E.J. Choy, Y.B. Hur and J.I. Myeong, 2009. Isotopic evidence of particle size-dependent food partitioning in cultured sea squirt *Halocynthia roretzi* and pacific oyster *Crassostrea gigas*. Aquat Biol., **6**: 289–302.
- Kang, C.K., M.S. Park, P.Y. Lee, W.J. Choi and W.C. Lee, 2000. Seasonal variations in condition, reproductive activity and biochemical composition of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*(Thunberg), in suspended culture in two coastal bays of Korea. J. Shellfish Res., **19**: 771–779.
- Kim, Y.O., W.J. Shim and K.D. Yum, 2007a. Implications for coastal ecosystem health assessments and their applications in Korea. Ocean and Polar Research, **29**: 319–326.
- Kim, Y.O., H.W. Choi, M.C. Jang, P.K. Jang, W.J. Lee, K.S. Shin and M. Jang, 2007b. A brief review of approaches using planktonic organisms to assess marine ecosystem health. Ocean and Polar Research, **29**: 327–337.
- KMA, 2009. Precipitation data from <http://www.kma.go.kr/weather/observation/past.cal.jsp>.
- Laybourn-Parry J., 1992. Protozoan plankton ecology. Chapman & Hall, London. 231p.
- Lee, J.S., 1995. Isolation and some properties of bitter taste compounds from cultured oyster, *Crassostrea gigas*. Bull. Korean Fish. Soc., **28**: 98–104.
- Lee, P.Y., C.K. Kang, W.J. Choi, W.C. Lee and H.S. Yang, 2001. Temporal and spatial variation of particulate organic matter in the southeastern coastal bays of Korea. J. Korean Fish. Soc., **34**: 57–69.
- Lee W.C., H.C. Kim, W.J. Choi, P.Y. Lee J.H. Koo and C.K. Park, 2002. Modification of an ecosystem model for carrying capacity of shellfish system. J. Korean Fish. Soc., **35**: 386–394.
- Navarro, J.M., E. Clasing, G. Urrutia, G. Asencio, R. Stead and C. Herrera, 1993. Biochemical composition and nutritive value of suspended particulate matter over a tidal flat of southern Chile. Estuar. Coast. Shelf Sci., **37**: 59–73.
- Negri, A.P., O. Bunter, B. Jones, and L. Llewellyn, 2004. Effects of the bloom-forming alga *Trichodesmium erythraeum* on the pearl oyster *Pinctada maxima*. Aquaculture, **232**: 91–102.
- NFRDI, 1999. Harmful algal blooms in Korean coastal waters from 1997 to 1998. National Fisheries Reserch and Development Institute, Korea. 215pp.
- NFRDI, 2000. Harmful algal blooms in Korean coastal waters in 1999. National Fisheries Reserch and Development Institute, Korea. 206pp.
- NFRDI, 2009. <http://www.nfrdi.re.kr>.
- Parsons, R.R., M. Takahashi and B. Hargrave, 1984. Biological Oceanographic Process. 3rd ed., Pergamon Press.
- Pastoureaud, A., C. Dupuy, M.J. Chrétiennot-Dinet, F. Lantoiné and P. Loret, 2003. Red coloration of oysters along the French Atlantic coast during the 1998 winter season: implication of nanoplanktonic cryptophytes. Aquaculture, **228**: 225–235.
- Rebstock, G.A. and Y.S. Kang, 2003. A comparison of tree marine ecosystems surrounding the Korean peninsula: Responses to climate change. Progress in Oceanography, **59**: 357–379.
- Reynolds, C.S., 1988. Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton. p.388-433. In: Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sato, Y., T. Oda, T. Muramatsu, Y. Matsuyama and T. Honjo, 2002. Photosensitizing hemolytic toxin in *Heterocapsa circularisquama*, a newly identified harmful red tide dinoflagellate. Aquatic Toxicology, **56**: 191–196.
- Shannon, C.E. and W. Wiener, 1963. The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois Press, Urbana, pp. 125.
- Smayda, T.J., 2002. Adaptive ecology, growth strategies and the global bloom expansion of dinoflagellates. J. Oceanogr. **58**: 281–294.
- SPSS Inc., 2003. SPSS base 12.0 User's Guide. Chicago, IL, USA.
- Suh, Y.S., L.H. Jang and J.D. Hwang, 2003. Anomalous variation of the oceanic features around Korean waters related to the global change. J. of the Environmental Sciences, **12**: 257–263.
- Tomas, C.R., 1997. Identifying marine phytoplankton. Academic press, USA.
- Widdows, J., P. Fieth and C.M. Worrall, 1979. Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. Mar. Biol., **50**: 195–207.
- Xu, F.L, K.C. Lam, Z.Y. Zhao, W. Zhan, Y.D. Chen and S. Tao, 2004. Marine coastal ecosystem health assessment: A case study of the Tolo Harbour, Hong Kong, China. Ecol. Model., **173**: 355–370.
- Yamaji, I., 1984. Illustration of marine plankton of Japan. 3rd ed. Hoikusha Pub. Co., Japan.

2010년 6월 21일 원고접수

2010년 8월 30일 수정본 채택

담당편집위원: 박명길