

## 득량만의 조개류 생산량과 환경요인 관계 분석

조은섭\* · 임월애 · 황재동 · 서영상

국립수산과학원 수산해양종합정보과

(2011년 7월 4일 접수; 2011년 9월 8일 수정; 2011년 9월 28일 채택)

### Effects of Environmental Characteristics on the Production of Shellfish in Deukryang Bay, Korea

Eun-Seob Cho\*, Weol-Ae Lim, Jae-Dong Hwang, Young-Sang Suh

Fishery and Ocean Information Division, NFRDI, Busan 619-705, Korea

(Manuscript received 4 July, 2011; revised 8 September, 2011; accepted 28 September, 2011)

#### Abstract

This study was carried out to determine marine environments and phytoplankton community in Deukryang Bay during the period of summer in 1987-2010. Water temperature, salinity, pH and dissolved oxygen were shown in much yearly fluctuations. In August, water temperatures in surface and on bottom were the highest, compared with average surface (24.54°C) and bottom (22.90°C) water temperature for 18 years in Deukryang Bay. The main reason is assumed to longer duration of sunshine during the period of August. Although the amount of the rainfall in August was the highest, significant impact of marine environment did not show. Most of dissolved inorganic nitrogen and phosphate in Deukryang were lower concentration during summer and N:P ratio also showed below 18 in Redfield. In particular, extreme increasing of N:P ratio in August was occurred by intensive precipitation. Distribution of phytoplankton community was a consistent occurrence for 18 years. The genus of *Chaetoceros*, *Cosinodisucs* and *Skeletonema* were regarded as the represent diatom, whereas the highest occurrence of genus among dinoflagellates was *Ceratium*. It is thought that the relationship between phytoplankton and nutrient has a strong positive signal, although nutrients persist a little concentration and much fluctuations in marine environments were observed. High availability in phytoplankton is contributed to consistently provide the food organism of shellfish. Consequently, recent decreasing production of shellfish and seed are probably associated with higher temperature during the period of summer. However, higher temperature is also occurred ago and after 2000. On the basis of geography, Deukryang Bay had a small mouth and long channel, which is attributed to decreasing genetic diversity. It is assumed that higher temperature and lower genetic diversity have a extreme impact of larvae and shellfish for reproduction in Deukryang. It is necessary to persistently monitor based on water quality and phytoplankton community.

**Key Words** : Phytoplankton, Deukryang Bay, Shellfish, Marine environment

#### 1. 서론

득량만은 남서 연안해역에 위치하며, 지형학적 특

징으로는 만의 남쪽 입구에서 북동쪽으로 함몰되어 있고 남쪽 입구를 통하여 해수교환이 이루어지는 폐쇄된 형태의 내만 특징을 보여주고 있다. 만 입구에 금당도, 거금도, 소록도 등을 중심으로 3개의 수로가 형성되어 있으며 만의 중앙에는 득량도가 위치하고 있다. 수심은 만 서쪽해역으로 5 m 이하로 얕은 반면에 동쪽해역의 수심은 20 m 이상으로 보고되고 있다(공

\*Corresponding author : Eun Seob Cho, Fishery and Ocean Information Division, NFRDI, Busan 619-705, Korea  
Phone: +82-51-720-2256  
E-mail: escho@nfrdi.go.kr

과 이, 1994). 득량만 주변은 임해공업단지나 대규모 도시가 형성되어 있지 않아 산업폐수 유입이 적고 환경 오염이 남해 연안해역의 다른 만과는 달리 비교적 깨끗한 만이다. 이러한 천혜적 환경조건으로 인하여 키조개, 피조개, 새고막 및 새조개 등과 같은 유용조개류의 패류양식이 성행하고 있을 뿐만 아니라 만내 대부분의 해역은 수산생물 생산장으로 이용되고 있기 때문에 수산자원의 보호 및 관리적 측면에서도 매우 중요한 해역이다. 특히 득량만은 우리나라 키조개 생산량이 대부분을 차지하고 있고, 겨울에는 김양식장으로 이용되고 있는 중요한 어장인 까닭에 근래에 많은 연구가 이루어 졌다. 예를 들면, 물리해양학적 연구(최 등, 1995; 최와 홍, 1997), 영양염류 분포특성(양 등, 1995), 퇴적물 양상 특성(류 등, 2006), 저서동물(마 등, 1995), 동물플랑크톤(한 등, 1995) 및 식물플랑크톤(윤, 1999) 등에 대해서 보고한 바 있다.

우리나라 조개류 양식은 주로 자연채묘나 천연적으로 발생한 치패를 수집하여 이용하고 있다. 대부분의 조개류 양식장의 특성은 양식 생물들이 색이, 월동, 산란 등을 위해 적합한 곳으로 이동을 하지 못하고 거의 일정한 곳에 정착하는 특성이 있다. 따라서 이러한 정착 생활은 양식장 주변 해역의 환경을 직접적으로 영향을 받게 됨으로 기후 및 해역 환경의 변화에 의해 생산성이 크게 좌우된다고 볼 수 있다(김과 박, 1998). 그러나 최근에 들어서는 득량만 조개류의 대량폐사와 자연채묘 부진 등으로 유용 조개류 생산량은 매년 감소하고 있는 실정이다.

조개류 자원 생산량에 많은 영향을 미칠 수 있는 조개류 유생은 인근 도시의 공업화 및 대규모 간척사업 등에 의한 대량폐사와 밀접한 관계로 물리, 화학, 생물학적 환경요인에 대한 연구가 절실히 필요하다. 따라서 본 연구는 득량만에 대한 1987년부터 2010년까지의 하절기 수질 변화 및 식물플랑크톤 변동을 파악하여 득량만 해양생태계의 건강도를 파악하여 최근 조개류 생산량이 급감되고 있는 원인을 환경생물학적 측면에서 논의하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

국립수산과학원 남서해연구소에서 매월 조사하고

있는 남해안 정기조사 자료를 분석하였다. 조사 시기는 1987년부터 2010년까지 득량만 환경조사를 대상으로 6월, 7월, 8월, 9월분에 대한 수질환경 및 식물플랑크톤 자료를 분석했다. 단, 1991년, 1995년, 1996년, 1998년, 2002년, 2003년 자료는 수질환경 및 식물플랑크톤 불충분으로 본 연구에서는 제외시켰다. 따라서 24년에 걸친 조사 자료 중에서 18년 자료분에 대한 평균치를 구한 후 각 연도별과 상호 비교하여 본 연구에 활용하였다. 조사항목으로는 수온, 염분, 수소이온농도(pH), 투명도, 용존산소(DO), 용존무기질소(DIN), 용존무기인(DIP), 부유물질(SS)과 Chl-*a*를 측정하였다. 용존무기인은 인산인( $PO_4^{3-}P$ )으로 구하였으며, 용존무기질소는 암모니아질소, 아질산질소와 질산질소의 합으로 구하였다. 수온, 염분, pH, 용존산소는 수질 측정기(YSI 6920)를 이용하여 현장에서 측정하였다. 영양염 분석을 위한 표층 및 저층해수는 niskin bottle (G/O, 1.2 L, USA)을 이용하였다. 채수된 해수는 1 L 플라스틱 용기에 담아 냉장고에 보관 후 실험실로 옮겨와 해양환경공정시험방법에 의거 즉시 분석했다(해양수산부, 2002). 단, 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2002)에 의한 영양염 분석은 2002년 이후부터 실시했다. 식물플랑크톤의 정량 분석을 위하여 표층해수 1 L를 채수하여 Lugol's 용액으로 고정된 후 실험실로 운반하여 3일 이상 침강시킨 후 상등액을 제거하여 5 mL로 농축시켰다. 농축 시료는 Sedgwick-Rafter에 분산시킨 뒤 광학현미경(Olympus, BX50) 하에서 검정하였다. 측정 항목들의 차이는 One-way ANOVA를 이용하여 분석하였으며, 유의한 차이는 Turkey 사후분석을 수행하여 검정하였다. 수질 변동에 영향을 미치는 요인들을 구명하기 위하여 상관분석을 실시하였다. 통계적인 분석들은 SPSS 프로그램을 이용하였으며, 유의수준은 95% 이하로 하였다.

## 3. 결 과

### 3.1. 해양환경

#### 3.1.1. 수온

6월의 경우 1987년 표층 수온이 21.53℃을 보였으나, 1988년과 1989년은 1987년에 비하여 약 3℃ 정도 높은 24.21℃을 나타내고 있다(Fig. 1). 그러나 1990

년부터 1999년까지는 큰 폭의 수온차를 나타내지 않았으나, 2000년부터 2005년까지 지속적으로 상승하여 24°C정도까지 보였다. 그 이후부터는 지속적으로 수온이 감소되어 2009년에는 최저 19.51°C까지 나타내었다. 2010년에는 2009년에 비하여 수온이 약 3°C 이상 높은 23.49°C를 보여 연도별에 따른 수온차의 범위가 큰 것을 알 수 있다. 반면에 저층은 표층에 비하여 연도별에 따른 수온차의 범위가 상대적으로 적었다. 또한 표층과 저층모두 18년 평균 수온보다 낮은 분포를 보였으나, 1988년, 1989년, 2005년의 표층수온은 거의 18년 평균치(24.54°C)에 근접하는 경향을 보였다. 저층의 18년 평균치는 22.90°C로 나타내고 있지만 6월의 저층수온은 평균치에 근접하는 연도를 찾을 수 없었다. 7월의 경우 1987년부터 1992년까지 표층수온이 지속적으로 상승되었으나 1993년에는 6°C

정도 떨어지는 23.22°C을 보였고 1994년에는 28°C에 근접되는 수온차를 나타내고 있다. 이러한 추세는 2010까지 계속되는 경향을 보여 표층수온은 연도별에 따라 상당한 수온차의 범위를 보여주고 있다. 18년 평균치와 비교해 보면 1993년, 1997년, 2001년, 2006년, 2007년을 제외한 나머지 연도는 평균치 이상을 나타내고 있다. 저층도 표층수온의 변화양상에 따라 거의 일치된 변화폭을 보이고 있다. 그러나 18년 저층 평균치(22.90°C)를 비교해 보면 표층에 비하여 평균치 이하의 수온을 나타내는 연도 횟수가 많을 것을 알 수 있다. 8월에도 표층수온의 변화폭은 7월처럼 비슷한 경향을 보이고 있다. 특히 2000년 이후 18년 평균치보다 훨씬 높은 수온을 보이고 있는 반면에 2000년 이전의 1987년, 1992년, 1993년, 1997년은 거의 18년 평균치 수온(24.54°C)을 보여 2000년 이후 특량만 표

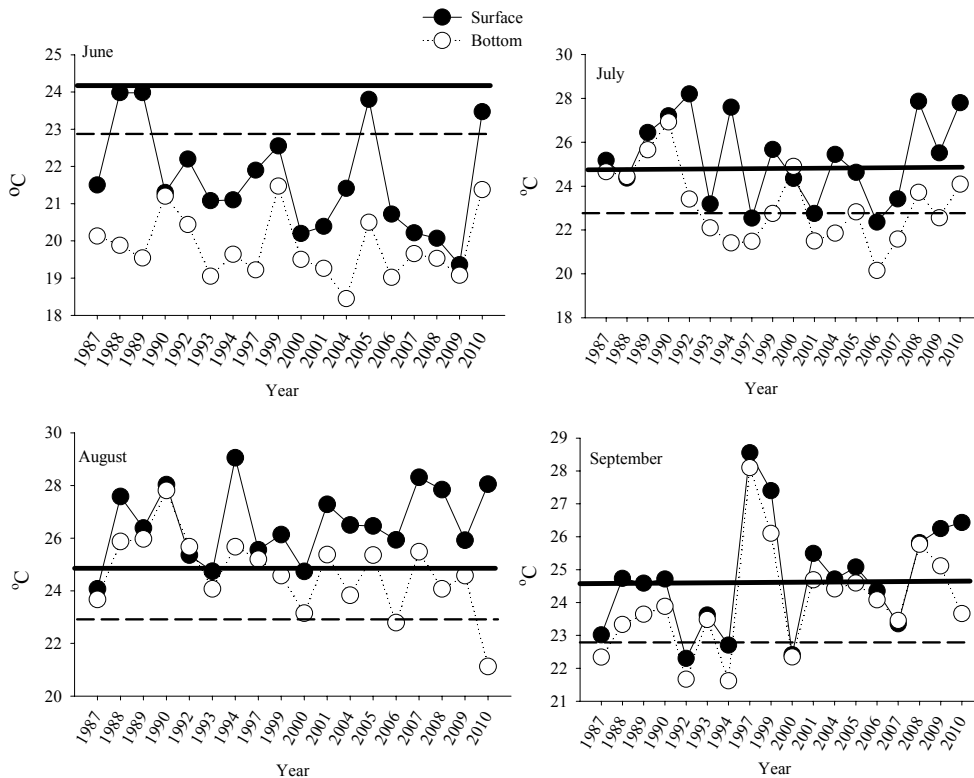


Fig. 1. Yearly fluctuation of water temperature(°C) in Deukryang Bay. Bold line indicates the average of surface water temperature during the period of summer in 1987-2010. Dash line represents the average of bottom water temperature during the period of summer in 1987-2010.

층수온은 2000년 이전에 비하여 훨씬 높은 수온을 나타내고 있다. 이와 반대로 저층수온의 경우 2000년 이후는 18년 평균치에 근접하는 연도는 2000년, 2006년, 2010년으로 나타났으나, 2000년 이전을 보면 평균치보다 높은 수온을 보이고 있는 것이 특징으로 보였다. 9월에는 1997년, 1999년을 제외한 나머지 연도는 대부분 18년 평균치 수온에 근접하거나 낮은 수온을 보이고 있다. 저층도 표층수온의 증감에 따라 거의 일치된 양상을 보였으나, 2000년 이후와 2000년 이전을 비교해 보면 2000년 이후의 수온이 다소 높은 경향을 나타내고 있다.

3.1.2. 염분

6월의 표층염분을 보면 1987년부터 1989년까지 31.24-32.18 psu의 변동폭을 보였으나 1990년부터 급격히 상승되어 1992년과 1993년에는 거의 33.5 psu에

근접되는 높은 염분을 보였다(Fig. 2). 1997년부터 2009년까지는 32.5-33.5 psu 범위내의 변동폭을 보이고 있다. 18년 평균치(31.67 psu) 와 비교해 보면 1987년, 1989년, 1994년을 제외한 나머지 연도는 평균치를 훨씬 높은 염분을 보이고 있다. 1987년과 1988년을 제외한 나머지 연도의 저층염분은 표층염분의 변동곡선과 거의 일치된 곡선을 보이고 있으나, 1987년과 2010년은 표층보다 훨씬 높은 염분을 보이고 있다. 또한 표층염분처럼 16년 평균치보다 낮은 연도는 1988년과 1994년뿐 이고 나머지 연도는 평균치 이상을 나타내고 있다. 6월처럼 1987년 표층염분은 다른 연도에 비하여 상당히 낮은 28.03 psu을 보였으나, 1988년부터 지속적으로 상승하여 30.05 psu 이상을 나타내고 있다. 18년 평균치보다는 대부분 높은 양상을 보였으나, 1987년, 2004년은 평균치 이하의 낮은

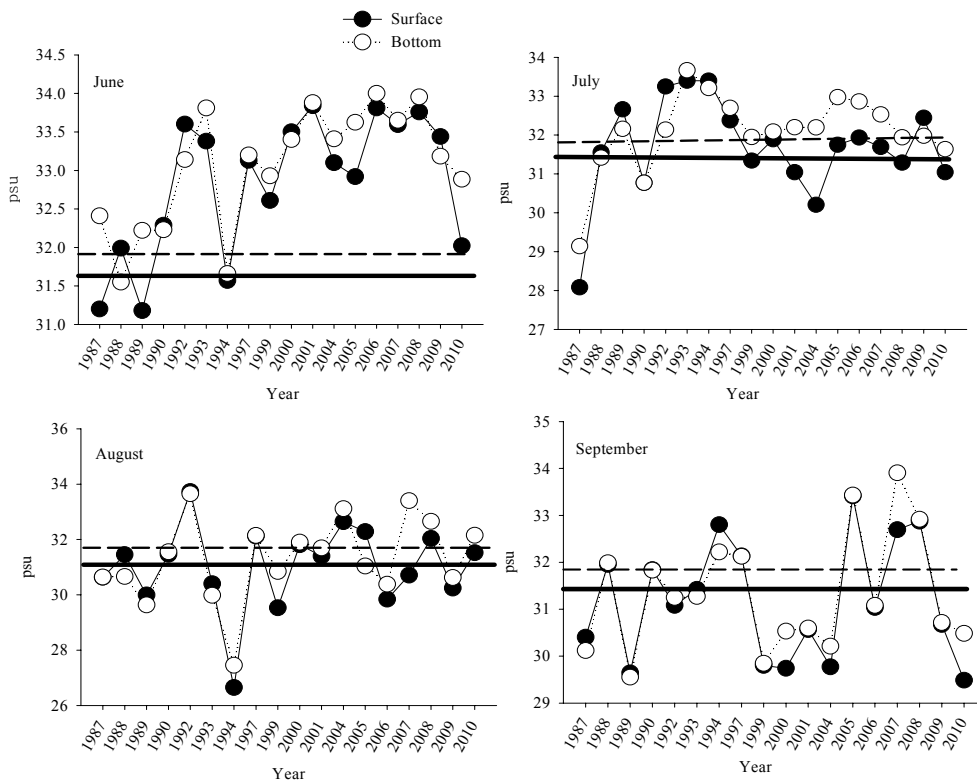


Fig. 2. Yearly fluctuation of salinity(psu) in Deukryang Bay. Bold line indicates the average of salinity in surface during the period of summer in 1987-2010. Dash line represents the average of salinity in bottom during the period of summer in 1987-2010.

염분을 나타내었다. 저층도 표층염분의 변화에 따라 거의 동일한 곡선을 보이고 있다 1987년과 1989년을 제외한 나머지 연도는 거의 18년 평균치(31.94 psu)에 근접하거나 그 이상을 보여주고 있다. 8월에는 6월과 7월에 보여준 1987년의 평균치 이하의 표·저층염분이 거의 정상적인 18년 평균치에 근접하고 있다. 그러나 7월에 비하면 대체적으로 낮은 염분농도를 보이고 있다. 18년 평균치 이상을 보이고 있는 연도는 9회인 반면에 그 이하는 7회 정도로 거의 절반정도로 평균치 이하와 이상의 변화양상을 보이고 있다. 저층도 표층염분의 변화곡선에 거의 일치된 추이를 보이고 있다. 특히 1994년의 경우 표·저층 모두 염분이 27 psu 이하의 매우 낮은 농도를 보였다. 9월에는 8월에 비하여 16년 표층 평균치보다 높게 나타나는 연도가 현저히 감소되었으나, 1989년, 1999년, 2000년, 2004년,

2010년의 표층염분은 30 psu 이하의 매우 낮은 염분 농도를 보인 반면에 1994년과 2006년은 33 psu에 근접한 값을 보여 많은 차이를 볼 수 있다. 저층의 변동폭을 보면 1989년, 1999년은 30 psu 이하의 염분이었으나, 2005년과 2007년은 33 psu 이상의 매우 높은 농도를 보여 연도별에 따른 저층도 염분 변화폭이 큰 것을 알 수 있다.

3.1.3. pH

Fig. 3은 연도별에 따른 하절기 pH 변화추이를 나타낸 것으로 6월의 경우 가장 높은 pH는 1997년 표층에서 8.5인 반면에 가장 낮은 pH는 1990년 저층에서 8.0으로 표층과 저층모두 변동폭은 약 0.5 정도의 범위를 보였다. 18년 표층 평균치(8.16)보다 낮은 연도 횟수는 6회로 대부분 평균치 이상을 나타내고 있다. 저층은 18년 평균치(8.08)보다 높은 연도는 1997년

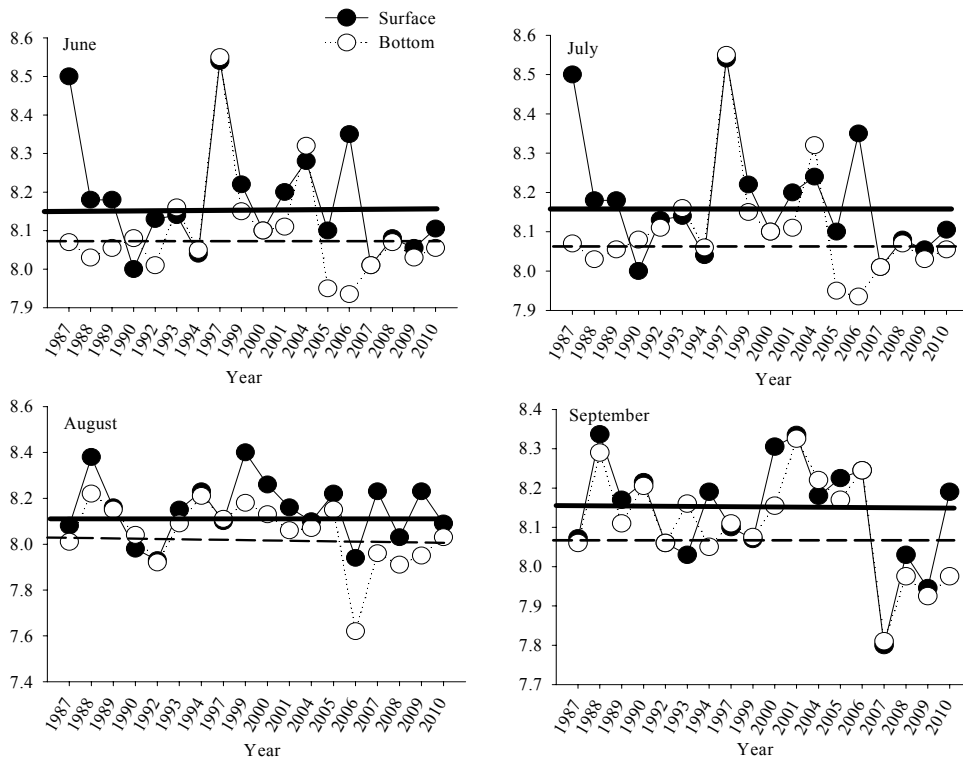


Fig. 3. Yearly fluctuation of pH in Deukryang Bay. Bold line indicates the average of pH in surface during the period of summer in 1987-2010. Dash line represents the average of pH in bottom during the period of summer in 1987-2010.

과 2004년인 것을 제외한 나머지 연도는 평균치 이하로 나타내고 있다. 7월의 경우 1987년 표층 pH가 8.52를 보여 18년 평균치(8.16)보다 약 0.4 정도 높은 값을 보였으나, 1988년부터 2010년까지 18년 평균치에 근접하는 경향을 보여 매우 일정한 양상을 보였다. 저층도 1997년 pH가 8.53으로 16년 평균치보다 약 0.5 이상 높은 값을 보였으나 나머지 연도는 평균치 범위에 근접하는 경향을 보였다. 2005년과 2006년을 제외한 나머지 연도는 평균치에 근접 혹은 이상의 pH를 보여 7월은 18년 평균치보다 훨씬 높은 pH를 나타내는 것을 알 수 있다. 8월과 9월 모두 연도별에 따른 변동폭은 나타나지만 표 · 저층 모두 18년 평균치 이상을 상회하는 연도 횟수가 많음에 따라 득량만의 pH 변화는 일정한 범위를 나타낸다고 할 수 있고 대부분 18년 평균치 이상의 값을 보여 하절기동안 pH는 표 · 저층 모두 8.0 이상으로 나타낸다고 할 수

있다.

3.1.4. 용존산소

Fig. 4는 연도별에 따른 표 · 저층 용존산소를 나타낸 것으로 6월의 경우 1987년부터 1994년까지의 표층 용존산소는 6 mg/L 이하로 낮은 범위를 보였으나 1997년부터 2010년까지는 6 mg/L 이상의 값을 나타내고 있다. 18년 표층 평균치는 6.64 mg/L로 그 이하로 나타나는 연도 횟수는 8회로 약 절반 정도 평균치 이하로 나타나는 경향을 보이고 있다. 저층도 표층의 변화곡선에 거의 일치된 경향을 보여 1987년부터 1994년까지는 표 · 저층 모두 매우 낮은 용존산소를 나타내었으나 그 이후부터는 거의 정상적인 수준으로 회복되는 추세다. 7월은 6월보다 용존산소의 농도가 다소 높은 경향을 보이고 있다. 1990년, 1992년, 1993년, 2001년 제외한 나머지 연도는 18년 평균치 보다 훨씬 높은 농도를 보이고 있고 1997년의 경우 거의 10

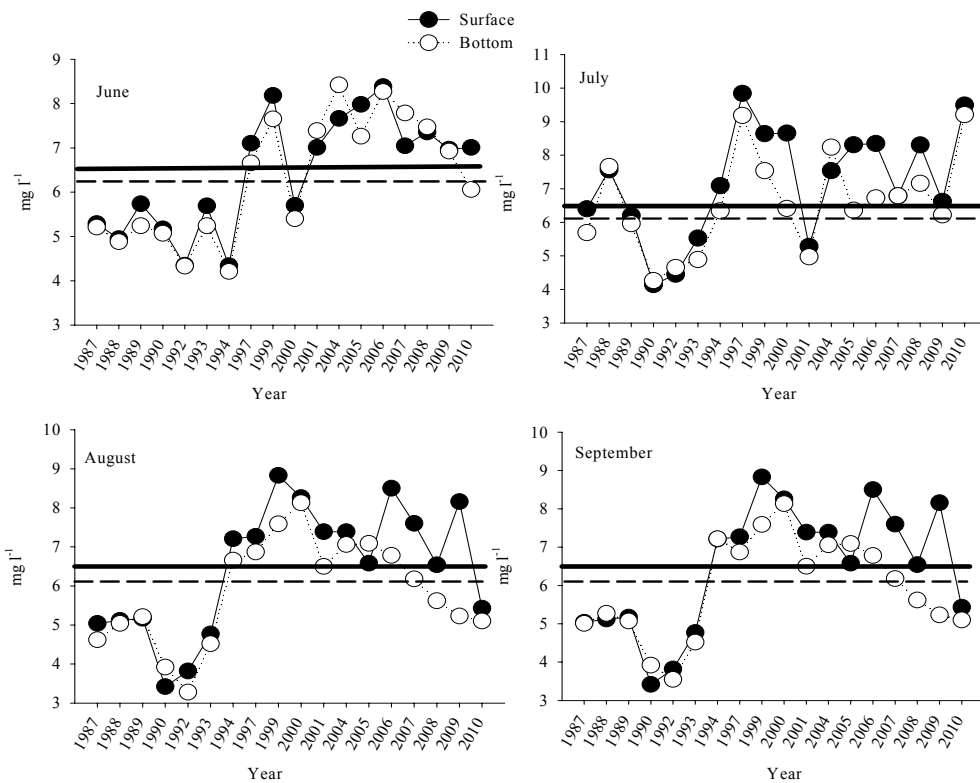


Fig. 4. Yearly fluctuation of dissolved oxygen(mg/L) in Deukryang Bay. Bold line indicates the average of surface dissolved oxygen during the period of summer in 1987-2010. Dash line represents the average of bottom dissolved oxygen during the period of summer in 1987-2010.

mg/L에 가까운 매우 용존산소를 보여 1990년 4.03 mg/L에 비하여 약 2배 이상의 차이를 볼 수 있다. 저층도 표층처럼 변화폭이 약 2배 이상으로 연도별에 따른 용존산소의 변화폭은 큰 것을 알 수 있다. 18년 저층 평균치(6.16 mg/L)보다 낮은 연도는 1990년, 1992년, 1993년, 2001년으로 대부분 평균치보다 높은 농도를 보이고 있다. 8월의 표층 용존산소를 보면 1987년 5 mg/L에서 1990년에는 3 mg/L까지 감소한 후 1992년부터 급속히 상승되기 시작하여 1999년 최고 약 9 mg/L까지 근접하는 값을 보여 최저와 비교시 약 3배 정도 차이가 났다. 저층도 1987년부터 1993년까지 5 mg/L 이하를 보였으나 1994년부터 증가되기 시작하여 2000년 최고 8.03 mg/L까지 보였다. 대부분 표층보다 낮은 범위로 나타났다. 9월도 8월과 거의 유사한 표·저층 변화곡선을 보였다.

### 3.2. 영양염

#### 3.2.1. 용존무기질소/용존무기인

6월의 표층 용존무기질소를 보면 1990년 이후부터 1997년까지 지속적으로 증가되어 최고 1.25 mg/L까지 나타내었으나, 그 이후부터 급격히 감소되어 0.03 mg/L를 보였다(Fig. 5). 그러나 대부분의 6월 용존무기질소는 18년 표층 평균치(0.39 mg/L)보다 훨씬 낮은 농도를 나타내었다. 표층과는 반대로 저층은 18년 동안 평균치(0.19 mg/L)에 거의 근접하는 농도를 보여 표층에 비하여 저층은 비교적 안정적인 값을 보이고 있다. 7월, 8월, 9월 모두 1994년과 1997년을 제외한 나머지 연도는 표·저층 모두 거의 평균치에 접근하는 농도를 보여 비교적 용존무기질소는 하절기동안 안정적인 농도를 나타내는 것을 알 수 있다. 18년 동안의 용존무기인 표층 평균치는 0.033 mg/L인 반면에 저층 평균치는 0.037 mg/L로 거의 표·저층 일치된

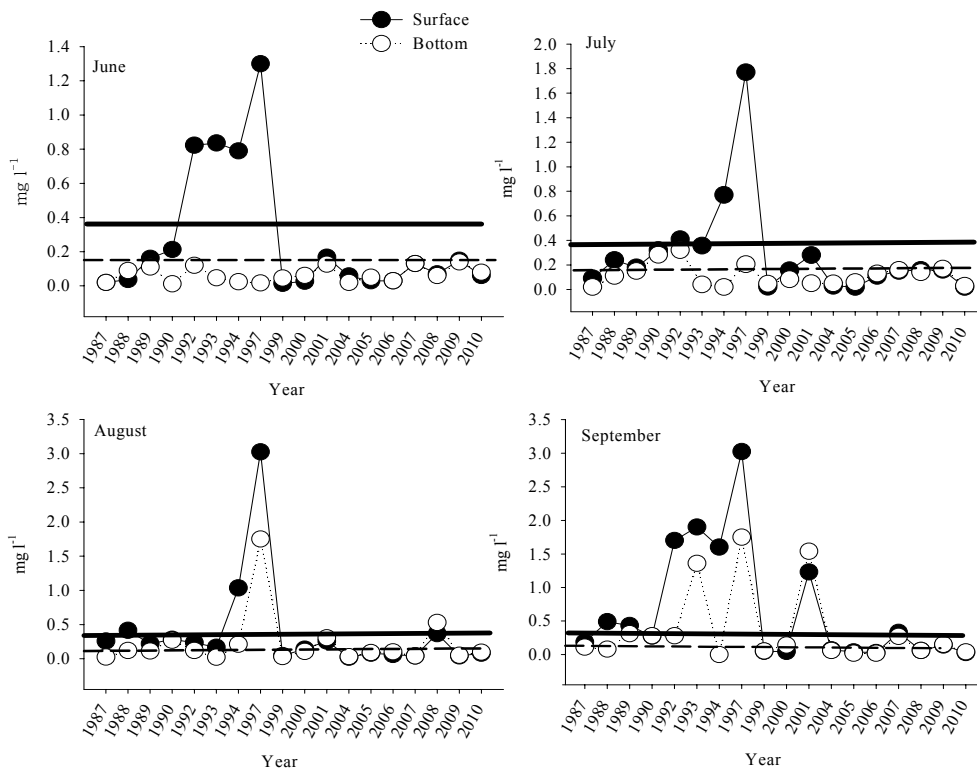
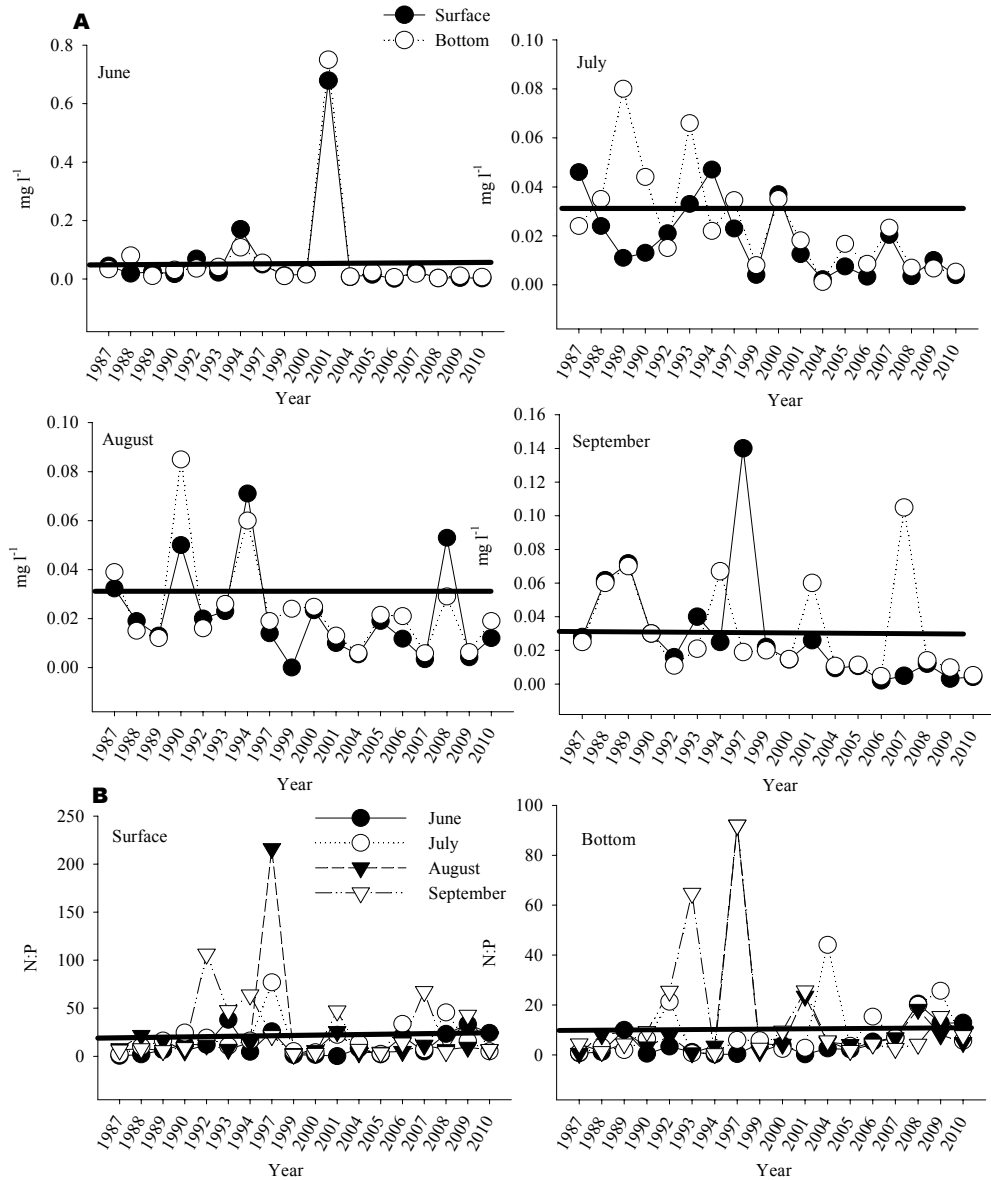


Fig. 5. Yearly fluctuation of dissolved inorganic nitrogen(mg/L) in Deukryang Bay. Bold line indicates the average of dissolved inorganic nitrogen in surface during the period of summer in 1987-2010. Dash line represents the average of dissolved inorganic nitrogen in bottom during the period of summer in 1987-2010.

농도를 보이고 있다(Fig. 6a). 하절기동안 득량만 용존 무기인의 표·저층 모두 평균치에 근접하거나 이하의 농도를 보여 연도별에 따른 급격한 변화보다 비교적 안정적인 농도를 유지하는 것으로 보인다. N:P 비율을 보아도(Fig. 6b) 6월의 표층은 약 200 정도로 매우

값을 나타내고 있지만 나머지 연도는 표층 평균치인 19.5에 거의 근접된 비율을 보이고 있다. 7월에는 1997년에 최고 70에 가까운 값을 보이고 있으나 대부분 평균치에 근접되는 연도가 많이 나타나고 있다. 8월에는 6월과 7월에 비하여 N:P 비율이 현저하게 높



**Fig. 6.** Yearly fluctuation of dissolved inorganic phosphate(mg/L) (A) and molar ratio of N/P (B) in Deukryang Bay. Bold line indicates the average of dissolved inorganic phosphate in surface and bottom during the period of summer in 1987-2010.



은 연도가 보이지 않고 거의 평균치에 근접된 값을 보이고 있다. 9월에는 하절기동안 N:P 비율이 평균치 이상을 보이는 연도가 가장 많이 나타났다. 저층도 9월에 1993년 60, 1997년 80에 가까운 수치를 보여 표층처럼 현저한 변화를 나타내는 것으로 보였다. 그러나 6월, 7월, 8월은 대부분 평균치에 근접하는 값을 보여 비교적 안정적인 N:P 비율을 나타내고 있다.

3.2.2. Chl-a

Chl-a는 하절기동안 연도별에 따른 급격한 변화보다 18년 표층 평균치(3.37  $\mu\text{g/L}$ )나 저층 평균치(1.60  $\mu\text{g/L}$ )에 거의 근접 혹은 그 이하의 낮은 농도를 보이는 연도가 대부분이다(Fig. 7). 6월의 경우 2006년과 2010년에 각각 8.03  $\mu\text{g/L}$ 과 최고 12.25  $\mu\text{g/L}$ 으로 나타났다 7월, 8월, 9월에는 2005년, 1994년, 2007년 각각 25.03  $\mu\text{g/L}$ , 16.02  $\mu\text{g/L}$ , 31.25  $\mu\text{g/L}$ 으로 각각 나타났다. 따라서 득량만의 Chl-a 변동은 특이한 연도를

나머지 연도의 하절기 변화는 거의 일정한 농도를 보이는 것을 알 수 있다.

3.2.3. SS/투명도

득량만의 18년 평균 SS는 11.80 mg/L로서 6월, 7월, 8월에는 평균치보다 약 2배 이상의 고농도를 보이는 연도가 보였으나, 9월에는 18년 평균치보다 높은 농도를 보이는 연도가 6월, 7월, 8월에 비하여 많이 나타났다(Fig. 8). 특히 2008년의 50 mg/L에 근접되는 매우 높은 농도를 보였으나 2010년에는 급격히 감소되는 경향을 보여 SS의 경우 대부분 18년 평균치 이하의 농도를 보이는 연도가 많았으나, 변동폭은 9월에 매우 높음을 알 수 있다. 6월의 투명도를 보면 연도별에 따라 차이가 나타났으나, 대부분 18년 평균치(2.5 m)보다 낮은 연도가 많았다(Fig. 9). 7월은 6월, 8월, 9월에 비하여 18년 평균치보다 많은 연도가 나타났으나, 대부분 18년 평균치 이하로 나타나는 연도가 많았

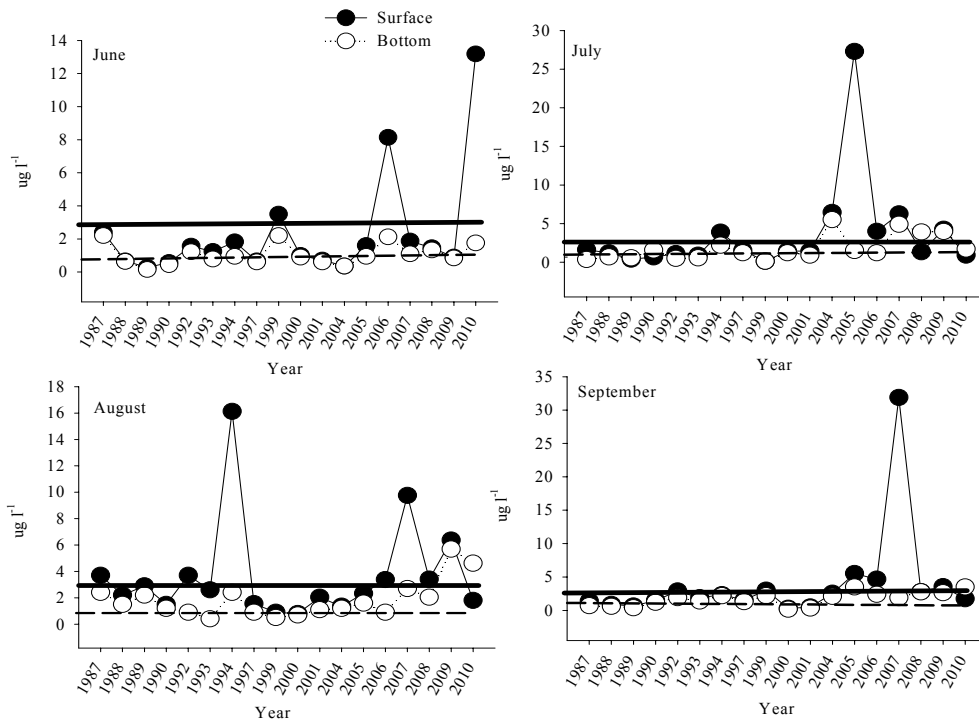
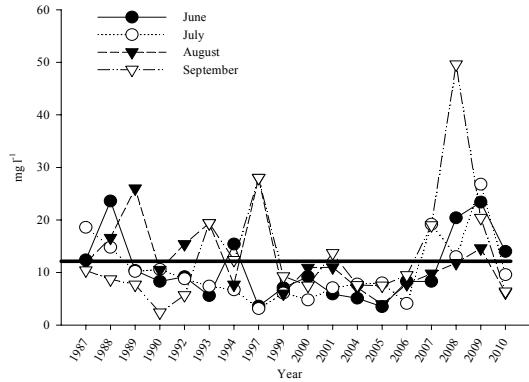
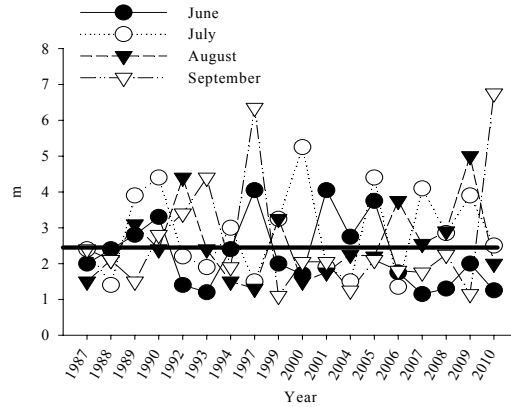


Fig. 7. Yearly fluctuation of Chl-a( $\mu\text{g/L}$ ) in Deukryang Bay. Bold line indicates the average of Chl-a in surface during the period of summer in 1987-2010. Dash line represents the average of Chl-a in bottom during the period of summer in 1987-2010.



**Fig. 8.** Yearly fluctuation of suspended solid(mg/L) Deukryang Bay. Bold line indicates the average of suspended solid in surface during the period of summer in 1987-2010.



**Fig. 9.** Yearly fluctuation of transparency(m) in Deukryang Bay. Bold line indicates the average of transparency during the period of summer in 1987-2010.

다. 1997년과 2009년 9월의 투명도는 18년 평균치보다 2배 이상의 매우 높은 경우도 있었다. 연도별에 따른 변동폭은 매우 크게 나타났으나 대부분 18년 평균치를 웃도는 연도보다 그 이하에 나타나는 연도가 많아서 다소 투명도는 일정한 깊이를 보이는 것을 알 수 있다.

3.2.4. 자료분석

18년 동안 득량만의 표층과 저층 수질인자에 대한 95% 유의적 수준에서 보면 표층의 수온은 저층보다 약 1.5℃정도 높게 나타났고, Chl-a와 용존무기질소는

저층보다 약 2배 이상 높은 농도를 보이고 있다(Table 1). 그러나 염분, pH, 용존산소, DIP은 표층과 저층차이가 유의적으로 나타나지 않았다. Table 2는 수온, 염분, pH, 용존산소, 용존무기질소, 용존무기인, Chl-a, SS, 식물플랑크톤 상관관계를 나타낸 것으로 수온과 염분 및 용존무기인은 음의 상관성을 나타내고 있는 반면에, 수온과 용존산소, 용존무기질소 및 식물플랑크톤은 양의 상관성을 보이고 있다. 염분의 경우 pH와 양의 상관성만 보일 뿐, 나머지 항목과는 음의 상관

**Table 1.** One-way ANOVA of surface and bottom in Deukryang Bay during summer in 1987 to 2010

Parameters	Surface	Bottom	F-ratio	p-value
Water temperature (°C)	24.54±2.42	22.90±2.36	19.5	0.002
Chl-a (µg/L)	3.37±5.26	1.60±1.23	9.3	0.0006
DIN (mg/L)	0.39±0.05	0.19±0.02	5	0.04

**Table 2.** Pearson correlation between environmental parameters in Deukryang Bay during summer in 1987 to 2010

	T	S	pH	D	DIN	DIP	C	SS
T	1							
S	-0.218**	1						
pH	ns	0.227*	1					
D	0.425**	-0.195**	ns	1				
DIN	0.137*	-0.355*	-0.273*	0.207*	1			
DIP	-0.153*	-0.296*	-0.118*	0.182*	0.525**	1		
C	ns	-0.123*	0.382**	0.369*	0.292*	ns	1	
SS	ns	ns	-0.252*	0.152**	ns	ns	ns	1
P	0.251**	-0.208*	0.228*	0.475**	0.197*	0.299*	0.374*	ns

Note: T, Water temperature (°C); S, Salinity; D, DO (mg/L); DIN, DIN (mg/L); DIP, DIP (mg/L); C, Chl-a (µg/L); SS, SS (mg/L); P, Phytoplankton. ns, not significant; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ .

**Table 3.** The spatio-temporal distribution of phytoplankton in Deukryang Bay in June during the period of 1987-2010

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
<b>Diatoms</b>																			
<i>Asterionellopsis</i>			※							※									
<i>Chaetoceros</i>	※	※	※		※	※	※		※		※			※		※		※	
<i>Cosinodiscus</i>	※	※	※	※	※	※	※	※	※		※	※	※	※	※	※	※	※	
<i>Dictyocha</i>		※		※															
<i>Ditylium</i>																	※		
<i>Eucampia</i>				※		※							※	※	※	※	※		
<i>Guinardia</i>		※															※	※	
<i>Lamphora</i>														※					
<i>Lauderia</i>																		※	
<i>Leptocylindrus</i>				※			※										※	※	
<i>Melosira</i>																	※	※	
<i>Navicula</i>														※		※	※	※	
<i>Nitzschia</i>				※	※		※			※						※	※	※	
<i>Oxyopsis</i>																		※	
<i>Pleurosigma</i>	※		※	※			※											※	※
<i>Pseudonitzschia</i>												※				※	※	※	
<i>Rhizolenia</i>	※		※	※	※	※	※				※						※	※	
<i>Skeletonema</i>	※		※	※	※		※				※		※	※	※				
<i>Stephanopyxis</i>				※															
<i>Thalassionema</i>			※	※			※												
<i>Thalassothrix</i>																	※	※	
<i>Thalassiosira</i>				※			※			※		※						※	
<b>Dinoflagellates</b>																			
<i>Ceratium</i>	※			※		※	※	※	※	※	※				※			※	
<i>Dinophysis</i>				※									※	※					
<i>Distephanus</i>				※			※						※	※					
<i>Eutreptiella</i>							※												
<i>Gonyaulax</i>	※			※															
<i>Gymnodinium</i>												※	※	※			※		
<i>Gyrodinium</i>																	※	※	
<i>Mesodinium</i>				※															
<i>Noctiluca</i>				※		※	※												
<i>Prorocentrum</i>				※	※		※			※		※	※						
<i>Protoperidinium</i>	※			※		※	※							※		※	※	※	
<i>Scrippsiella</i>							※					※	※			※	※		
<i>Tintinnopsis</i>							※										※	※	
<b>Raphidophyceae</b>																			
<i>Chattonella</i>				※															
<i>Heterosigma</i>													※						

Note: 1, 1987; 2, 1988; 3, 1989; 4, 1990; 5, 1992; 6, 1993; 7, 1994; 8, 1997; 9, 1999; 10, 2000; 11, 2001; 12, 2004; 13, 2005; 14, 2006; 15, 2007; 16, 2008; 17, 2009; 18, 2010.

Table 3-1. July

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Diatoms</b>																		
<i>Asterionellopsis</i>							※											
<i>Bacteriastrium</i>			※															
<i>Chaetoceros</i>	※	※	※	※		※	※			※	※	※		※		※	※	※
<i>Cosinodiscus</i>		※	※	※	※		※		※	※		※	※	※	※		※	※
<i>Dictyocha</i>		※				※	※		※	※								※
<i>Ditylium</i>			※						※		※						※	※
<i>Ebria</i>					※													
<i>Eucampia</i>		※	※	※			※			※				※				
<i>Guinardia</i>	※		※	※			※			※					※	※	※	
<i>Hemiaulus</i>							※											
<i>Lauderia</i>																		※
<i>Leptocylindrus</i>				※			※			※							※	※
<i>Melosira</i>						※							※	※	※	※		
<i>Nitzschia</i>		※		※		※	※	※										※
<i>Pleurosigma</i>				※				※										※
<i>Pseudonitzschia</i>													※					
<i>Rhizosolenia</i>	※	※	※	※						※								
<i>Skeletonema</i>	※			※		※	※			※		※	※					※
<i>Stephanopyxis</i>			※	※			※			※								
<i>Thalassionema</i>	※		※	※	※		※											
<i>Thalassothrix</i>	※			※						※							※	※
<i>Thalassiosira</i>	※	※			※	※	※										※	※
<b>Dinoflagellates</b>																		
<i>Akashiwo</i>																	※	※
<i>Ceratium</i>			※	※	※	※	※		※		※	※	※	※	※		※	※
<i>Cochlodinium</i>															※			
<i>Dinophysis</i>							※											
<i>Distephanus</i>			※	※		※												
<i>Eutreptiella</i>							※											
<i>Gonyaulax</i>	※		※															
<i>Gymnodinium</i>				※														
<i>Gyrodinium</i>							※											
<i>Noctiluca</i>							※											
<i>Prorocentrum</i>			※	※		※	※										※	
<i>Protoperidinium</i>							※						※	※	※			※
<i>Scrippsiella</i>							※					※		※				
<i>Tintinnopsis</i>	※																	
<b>Raphidophyceae</b>																		
<i>Chattonella</i>																※		
<i>Heterosigma</i>												※						

Note: 1, 1987; 2, 1988; 3, 1989; 4, 1990; 5, 1992; 6, 1993; 7, 1994; 8, 1997; 9, 1999; 10, 2000; 11, 2001; 12, 2004; 13, 2005; 14, 2006; 15, 2007; 16, 2008; 17, 2009; 18, 2010.

Table 3-2. August

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Diatoms</b>																		
<i>Asterionellopsis</i>							※											
<i>Bacteriastrum</i>	※						※											
<i>Chaetoceros</i>	※	※	※	※		※	※	※	※		※	※	※	※			※	
<i>Cosinodiscus</i>	※	※	※		※					※			※					※
<i>Detonula</i>																※		
<i>Dictyocha</i>	※		※							※	※							
<i>Ditylium</i>	※						※											
<i>Eucampia</i>	※	※	※				※							※				
<i>Guinardia</i>	※	※		※		※	※											※
<i>Hemiaulus</i>							※											
<i>Leptocylindrus</i>	※			※		※								※				※
<i>Melosira</i>													※		※			※
<i>Navicula</i>															※	※		
<i>Nitzschia</i>	※	※	※		※	※	※	※	※			※						
<i>Oxyopsis</i>																		
<i>Pleurosigma</i>	※				※		※		※	※	※							
<i>Pseudonitzschia</i>														※	※		※	※
<i>Rhizosolenia</i>	※	※	※	※	※		※	※						※				※
<i>Skeletonema</i>	※	※	※	※	※	※	※		※			※	※	※	※	※	※	※
<i>Stephanopyxis</i>	※	※					※				※					※		※
<i>Stephanotheca</i>	※						※											
<i>Thalassionema</i>	※	※	※	※		※	※											
<i>Thalassothrix</i>				※	※		※										※	
<i>Thalassiosira</i>	※						※					※			※			
<i>Tintinnopsis</i>	※																	
<b>Dinoflagellates</b>																		
<i>Akashiwo</i>													※					
<i>Ceratium</i>	※	※	※	※	※	※	※				※	※	※	※	※	※	※	※
<i>Cochlodinium</i>							※								※	※		
<i>Dinophysis</i>													※					
<i>Distephanus</i>							※											
<i>Gonyaulax</i>	※	※		※														※
<i>Gymnodinium</i>					※		※						※			※		
<i>Noctiluca</i>	※			※									※			※	※	
<i>Prorocentrum</i>				※	※		※											
<i>Protoperidinium</i>			※	※			※					※		※	※	※		
<i>Scrippsiella</i>							※											
<i>Tintinnopsis</i>							※											

Note: 1, 1987; 2, 1988; 3, 1989; 4, 1990; 5, 1992; 6, 1993; 7, 1994; 8, 1997; 9, 1999; 10, 2000; 11, 2001; 12, 2004; 13, 2005; 14, 2006; 15, 2007; 16, 2008; 17, 2009; 18, 2010.

Table 3-3. September

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Diatoms</b>																		
<i>Bacteriastrum</i>	※									※								
<i>Biddalphia</i>				※						※								
<i>Chaetoceros</i>	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※
<i>Cosinodiscus</i>	※	※	※	※			※		※	※	※			※		※	※	※
<i>Dictyocha</i>	※			※						※								
<i>Ditylium</i>				※					※							※	※	
<i>Guinardia</i>		※	※	※												※	※	
<i>Leptocylindrus</i>	※			※		※	※											
<i>Melosira</i>																※	※	※
<i>Navicula</i>												※	※	※	※	※		
<i>Nitzschia</i>	※	※		※		※	※		※	※	※							※
<i>Odonella</i>														※		※		
<i>Pleurosigma</i>	※	※		※			※									※	※	
<i>Pseudonitzschia</i>								※				※	※	※				
<i>Rhizosolenia</i>	※	※	※	※			※	※		※	※	※	※	※	※	※	※	※
<i>Skeletonema</i>	※			※		※	※	※						※	※	※		※
<i>Stephanopyxis</i>	※			※				※	※						※	※	※	
<i>Thalassionema</i>	※	※		※		※			※									
<i>Thalassothrix</i>				※				※		※	※					※	※	
<i>Thallasiosira</i>	※	※		※		※				※	※					※	※	※
<b>Dinoflagellates</b>																		
<i>Akashiwo</i>														※		※	※	
<i>Ceratium</i>	※			※			※	※	※	※		※	※	※	※	※	※	※
<i>Cochlodinium</i>				※				※	※							※		
<i>Dinophysis</i>									※									
<i>Distephanus</i>										※								
<i>Gonyaulax</i>	※	※	※															
<i>Gymnodinium</i>				※													※	
<i>Gyrodinium</i>														※	※			
<i>Mesodinium</i>																		※
<i>Noctiluca</i>	※						※									※	※	
<i>Prorocentrum</i>		※	※		※		※				※							
<i>Protoperidinium</i>							※					※	※	※	※			
<i>Scrippsiella</i>							※							※				
<i>Tintinnopsis</i>	※				※					※								

Note: 1, 1987; 2, 1988; 3, 1989; 4, 1990; 5, 1992; 6, 1993; 7, 1994; 8, 1997; 9, 1999; 10, 2000; 11, 2001; 12, 2004; 13, 2005; 14, 2006; 15, 2007; 16, 2008; 17, 2009; 18, 2010.

성을 나타내고 있다. pH도 Chl-*a*와 식물플랑크톤과는 양의 상관성을 나타내고 영양염과는 음의 상관성을 보이고 있다. 용존산소는 영양염과 식물플랑크톤 모두 양의 상관성을 보이고 용존무기질소, 용존무기인산과 Chl-*a* 모두 용존무기인산, Chl-*a*, 식물플랑크톤과 양의 상관관계를 보이고 있다. 그러나 SS는 식물플랑크톤과는 통계적으로 상관성을 보이고 있지 않았다.

### 3.3. 식물플랑크톤

Table 3은 연도별에 따른 하절기 특량만에 출현한 식물플랑크톤 속(genus) 수준에서 나타난 것으로 6월의 경우 규조류 중에서 *Chaetoceros* 속, *Cosinodiscus* 속, *Rhizosolenia* 속, *Skeletonema* 속이 가장 많이 출현되었다. 이러한 속들은 18년 동안 65% 이상 출현된 반면에 *Asterionellopsis* 속, *Ditylium* 속, *Lamphora* 속, *Oxyopsis* 속은 단 1회만 출현되어 많은 차이를 볼 수 있다. 와편모조류 중에는 *Ceratium* 속, *Protoperidium* 속이 가장 많이 출현되었다. 6월에는 와편모조류보다 규조류가 훨씬 더 많은 속들이 동정되어 대부분 규조류가 많이 우점되고 있는 것을 알 수 있다. 7월에도 규조류 중에서 *Chaetoceros* 속, *Cosinodiscus* 속, *Skeletonema* 속이 가장 많이 출현되어 6월과 유사한 경향을 보였다 (Table 3-1). *Bacteriastrum* 속, *Ebria* 속, *Hemiaulus* 속은 6월에 나타나지 않고 7월에 출현되었다. 와편모조류도 *Akashiwo* 속, *Cochlodinium* 속 등은 7월에 출현되는 특징을 보이고 있다. 6월처럼 *Ceratium* 속이 와편모조류 중에서 가장 월등히 높게 동정되었다. 8월도 7월에 동정된 속과 거의 유사하게 나타났다 (Table 3-2). 8월에도 *Chaetoceros* 속과 *Skeletonema* 속이 규조류 중에서 가장 많이 출현되었고 *Cosinodiscus* 속은 6월과 7월에 많이 나타났지만 8월에는 출현빈도가 낮았다. 와편모조류 중에서는 *Ceratium* 속이 가장 많이 출현되었고 *Cochlodinium* 속은 1994년, 2007년, 2008년에 보였다. 1999년을 기점으로 보와 6월, 7월, 8월의 식물플랑크톤 동정빈도를 보면 1999년 이후에 출현된 회수보다 훨씬 많게 나타났다. 그러나 9월이 되면 1999년 이후에 많은 속들이 보여 대조되는 결과가 나타났다 (Table 3-3). 9월도 *Chaetoceros* 속, *Cosinodiscus* 속, *Rhizosolenia* 속, *Skeletonema* 속, *Ceratium* 속이 6월, 7월, 8월처럼 가장 우점으로 출현되었다. *Raphidophyceae*

에 속하는 *Chattonella* 속과 *Heterosigma* 속은 6월과 7월에만 출현되었다.

## 3.4. 해양기후

### 3.4.1. 강수량

18년 동안 특량만의 강수량을 보면 연도별에 따라 6월의 전체 강수량 변화는 현저히 나타나고 있다 (Fig. 10a). 1987년 6월에 내린 강수량은 150 mm를 나타내고 있으나, 1990년까지 지속적으로 증가되어 최고 300 mm 이상 내렸다. 또한 1992년에는 6월 전체 강수량이 50 mm 이하 될 정도로 많은 차이를 보여주고 있다. 7월도 1987년, 1999년, 2006년, 2009년을 제외한 나머지 연도의 대부분은 300 mm 이하를 보여주고 있다. 8월에는 1993년 최고 600 mm 이상을 나타내고 있고 대부분 200 mm 이상을 나타내고 있어 하절기 동안 가장 많은 강수량을 보이고 있다. 9월이 되면 8월에 비하여 강수량이 절반 이상 감소되는 경향을 보이고 있다. 월별 평균 강수량과 18년 평균 강수량을 비교해보면 6월의 18년 평균 강수량은 16.62 mm보다 그 이하의 연도보다 그 이상의 연도가 많이 나타남에 따라 특량만의 6월은 강수량이 많다고 할 수 있다 (Fig. 10b). 그러나 7월의 18년 평균치(17.55 mm), 8월의 18년 평균치(19.17 mm), 9월의 18년 평균치(13.51 mm)보다 그 이하의 연도횟수가 많이 출현됨에 따라 평균 강수량은 8월을 제외한 7월과 9월은 6월과 거의 비슷한 수준을 보이지만 18년 평균치보다 그 이하의 연도가 훨씬 많게 나타났다.

### 3.4.2. 일조량

6월의 전체 일조량을 보면 2008년 100 시간을 제외한 나머지 연도는 대부분 150 시간 이상을 나타내고 있다 (Fig. 11a). 또한 2008년 제외한 나머지 연도의 전체 일조량 변동폭은 다소 적음을 알 수 있다. 7월과 8월에는 이러한 변동폭이 연도별에 따라 크게 나타났다. 최고 일조시간은 6월과 비슷하지만 최저와 최고 일조량의 차이가 약 3배 이상 나타났다. 또한 1987년부터 1992년까지 지속적인 증가를 보이다가 1993년 급격히 감소되는 경향은 7월과 8월 모두 비슷하고 그 이후의 변화곡선도 거의 일치된 양상을 보이고 있다. 9월은 6월처럼 연도별 변동폭이 다소 감소되는 경향

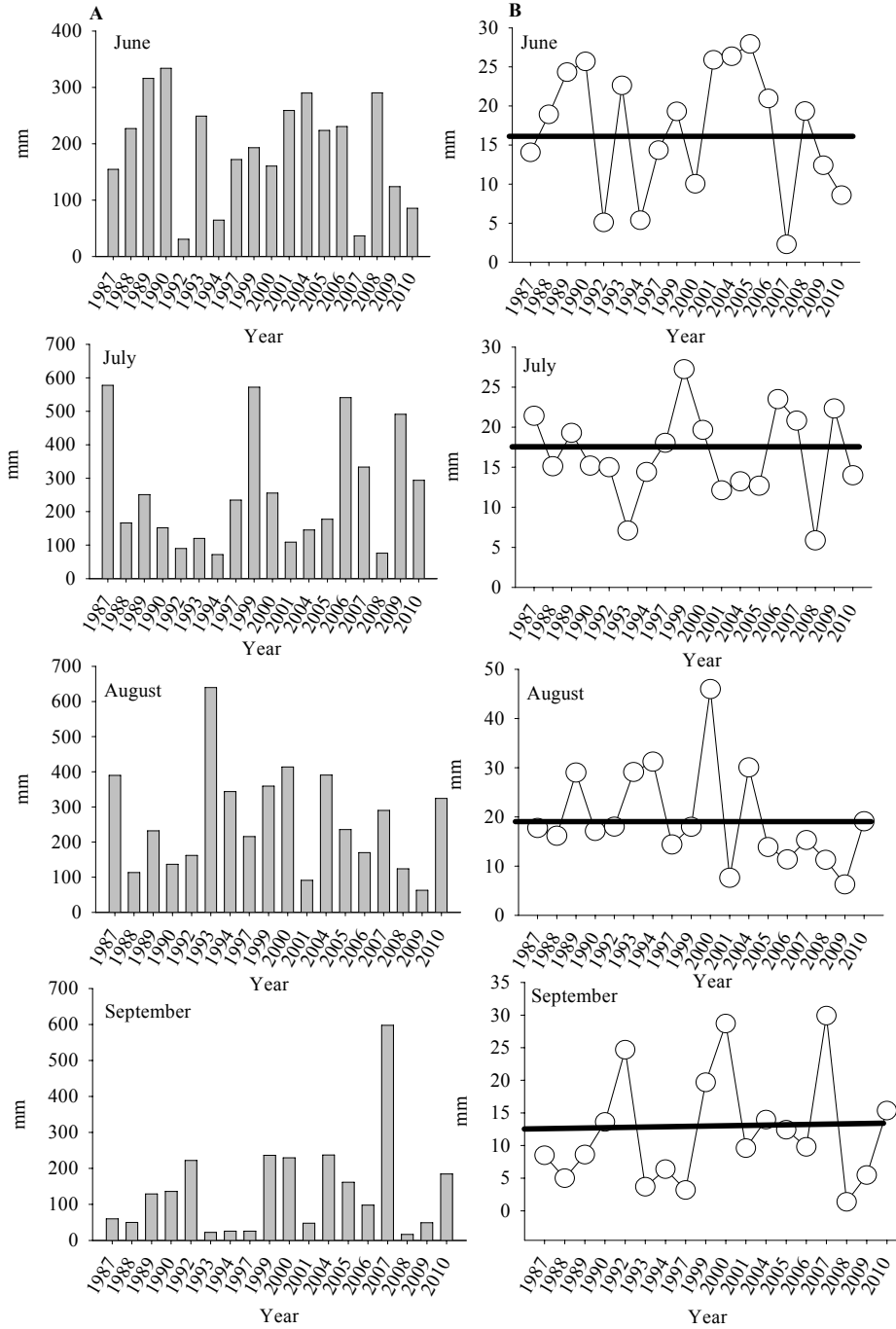
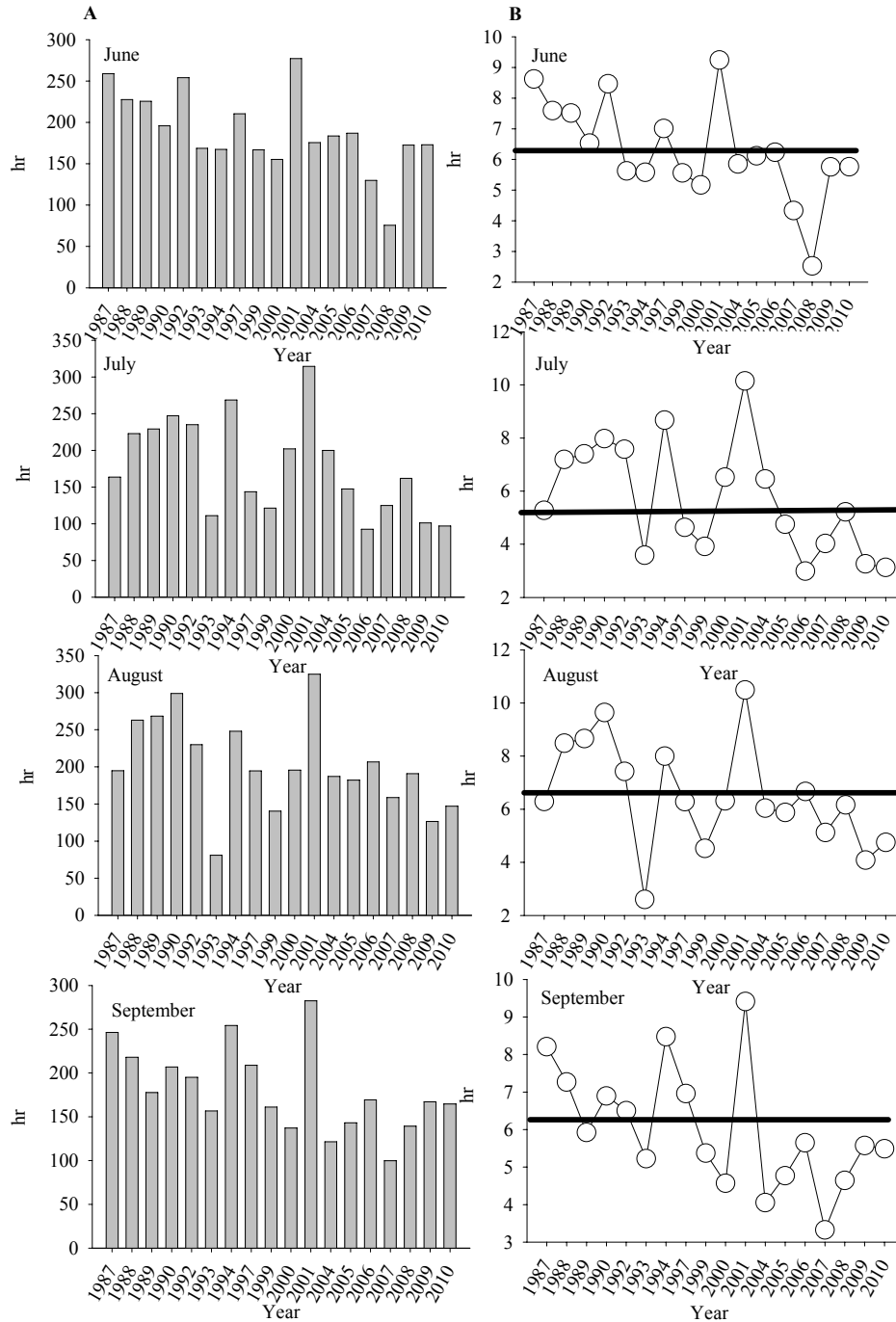


Fig. 10. Yearly fluctuation of precipitation(mm) (A) and average (B) in Deukryang Bay. Bold line indicates the average of precipitation during the period of summer in 1987-2010. Data from Gwangju Regional Meteorological Administration ([www.kma.go.kr](http://www.kma.go.kr)).





**Fig. 11.** Yearly fluctuation of sunshine duration(hr) (A) and average (B) in Deukryang Bay. Bold line indicates the average of sunshine duration during the period of summer in 1987-2010. Data from Gwangju Regional Meteorological Administration(KMA, 2011).

을 보이고 있다. 따라서 득량만의 6월과 9월의 일조량 변화곡선은 상호 유사한 반면에 7월과 8월 비교시 상이한 변화곡선을 보이고 있는 특징이다. 18년 평균치와 비교해보면 6월의 경우 18년 평균치 6.3 시간 보다 많이 나타나는 연도는 그 이하의 연도보다 빈도가 훨씬 떨어진다(Fig. 11b). 2008년의 경우 한 달 평균 일조시간이 3 시간도 되지 않는 아주 짧은 일조를 보인 반면에 2001년처럼 9 시간에 근접되는 경우를 보아서 연도별에 따른 변동은 매우 크다고 할 수 있다. 7월에는 18년 평균치(5.7 시간)으로 6월과 반대로 18년 평균치 이상을 나타내는 연도가 많이 나타났다. 8월과 9월은 6월처럼 18년 평균치 이하로 나타나는 연도가 많아 하절기동안 7월을 제외한 일조량은 평균치 이하를 나타내는 연도가 많을 것으로 판단된다. 또한 일조량은 연도에 따라 일정한 시간을 나타내는 것이 아니라 변동이 매우 심하다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 고 찰

김 등(2006)에 의하면 득량만에서 연중 가장 많은 조개류 유생 출현량을 보인 시기를 6-9월이며, 특히 8월에 가장 많이 출현한다고 하였다. 좀 더 세분하면 새조개 유생은 6월에서 8월에 출현량이 가장 많고 피조개 유생은 8월에서 9월에 많이 출현된다고 보고하고 있다(김 등, 2006). 따라서 득량만의 조개류는 대부분 하절기에 산란하여 부유유생으로 생활하고 있기 때문에 하절기의 급격한 변화는 모패와 유생의 직접적인 폐사와 밀접한 관계에 있다고 할 수 있다. 급격한 수질 환경 변화는 모패의 체력저하 및 유생의 발달속도를 많이 지연시켜줄 뿐 아니라(유, 2000) 식물플랑크톤 세포수에도 많은 영향을 미칠 수 있기 때문에(윤, 1999) 이를 먹이로 하는 모패의 건강도를 급속히 악화시켜 줄 수 있다. 득량만의 조개류 유생이 외부에서 공급받기 보다는 만 자체에서 생산을 해야 되므로 지속적인 조개류 성장을 위해서는 하절기의 수질환경과 식물플랑크톤 군집분석 및 모니터링은 매우 중요하리라 본다.

김 등(2006)의 보고에 의하면 하절기 중 8월에 조개류의 유생 출현이 가장 많았다고 하였다. 득량만의 8월 강수량과 일조량은 18년 평균치보다 훨씬 높아 집중적인 강우와 일조량이 많은 것을 알 수 있다. 특히

집중적인 일조량은 득량만의 표층과 저층 수온 모두 증가시켜 18년 평균치의 대부분 상회하는 연도가 나타났다(Fig. 1). 또한 표층과 저층을 현저히 분리시키는 성층화까지 형성시켰다(Table 1). 그러나 8월의 강수량은 수온처럼 뚜렷한 차이를 볼 수 없어 득량만의 하절기 동안 수온의 급격한 변화는 일조량인 것으로 추측된다. 6월에서 9월동안 일일 평균 6시간 정도의 일조량을 가지고 있기 때문에 표층에 부유하고 있는 유생과 저층에 서식하고 있는 모패에게도 많은 영향을 미칠 수 있을 것으로 본다. 8월은 조개류 유생이 가장 많을 뿐 아니라 표층과 저층 모두 고수온을 유지하고 있어서 부유 유생 및 어미패의 성장생리에 많은 스트레스를 가져다 줄 것으로 본다. 윤 등(2001)에 의하면 가막만 피조개 종패의 대량폐사 시점을 8-9월로 보고하는 이유도 득량만의 경우처럼 8월의 강한 일조량으로 인한 고수온 지속도 원인중의 하나로 생각된다. 물론 8월에 가장 많은 강수량을 나타내지만 고수온을 현저히 감소시킬 수 있는 요인으로 크게 작용되지 못하는 것을 알 수 있다. 왜냐하면 8월의 염분을 보면 표층과 저층 모두 18년 평균치에 근접하는 연도가 많아(Fig. 2) 오히려 조개류 유생에 스트레스 요인으로 크게 작용하지 않을 것으로 본다. 득량만의 안쪽 해역과 서쪽 해역은 수심이 낮아서 가막만처럼 빈산소 수괴가 나타날 수 있으나(김 등, 2010), 득량만의 수온과 용존산소는 강한 양의 상관성을 보이고(Table 2), 8월에도 18년 평균치를 상회하는 연도가 많아(Fig. 4) 하절기 용존산소 부족에 의한 스트레스는 다소 낮을 것으로 추측된다. 이는 조 등(1999)의 자료에서도 하절기 용존산소농도가 6.6-9.7 mg/L를 보인다고 하여 본 연구와 많은 일치점을 보여 용존산소는 조개류 폐사와 채묘부진의 주원인으로 간주하기는 좀 어려운 것 같다.

부유물질은 식물플랑크톤의 광합성과 매우 밀접한 관계에 있고 부유 퇴적물의 양에 의하여 결정되는 투명도는 수괴의 특성을 분류하는데 있어서 수온 및 염분에 비하여 그 성격이 뚜렷하게 나타나며, 관측이 수온, 염분 등에 비해 비교적 쉽게 측정할 수 있는 장점이 있다. 특히 해수와 담수가 만나는 하구역 등에서 투명도 차이가 뚜렷이 나타나므로 수괴의 전선형태를 밝힐 수 있다. 연안역에서도 투명도는 부유 퇴적물과 해수의 물리적인 변동 특성과도 밀접한 관계에 있다.

최 등 (1995), 이 등 (1995), 최와 홍 (1997)에 따르면 득량만의 수형 분포가 조석 주기에 따라 해역별로 뚜렷한 분포 특성이 있다고 하였다. 또한 이러한 해역 특성으로 인하여 폐쇄적 특성이 매우 강한 득량만의 유기물 농도는 전반적으로 낮은 농도를 보인다고 하였다(윤, 2003). 본 연구에서도 부유 퇴적물의 농도는 18년 평균치 이하로 보인 이유는 윤 등(2003)의 설명을 잘 뒷받침해 주는 자료로 보인다(Fig. 8). 특히 8월은 하절기 중에서 가장 낮은 부유물질을 나타내고 있어서 조개류의 먹이원인 식물플랑크톤 성장에 미치는 영향이 다소 미미할 것으로 추측되고 식물플랑크톤과 Chl-*a*는 높은 양의 상관성(Table 2)을 나타내기 때문에 먹이가 부족해서 체력이 약화되어 폐사되는 원인으로 보기에는 좀 어렵다. 그러나 표층과 저층간의 Chl-*a* 농도는 현저한 차이를 나타내기 때문에(Table 1) 저층에 주로 서식하고 있는 조개류의 하절기 먹이 공급에 제한적인 요인으로 작용될 가능성이 없지 않다. 한편, 이 등 (1996)은 득량만의 수괴 조사를 투명도를 통하여 분석한 결과 대조기와 소조기에 따라 투명도의 분포가 뚜렷할 뿐만 아니라 계절적 특성도 강하다고 하였다. 본 연구에서 18년간 조사한 득량만의 투명도 평균치는 2.5 m로 다소 낮은 투명도를 보였다(Fig. 9). 또한 득량만의 투명도가 연도에 따라 큰 차이를 보인 이유는 앞에서 언급한 득량만의 해역적 특성으로 생각되어 진다. 특히 8월의 경우 18년 평균치보다 낮은 연도가 많아서 식물플랑크톤의 세포수가 하절기 중에서 가장 우세함을 알 수 있다. 양 등 (1995)은 득량만의 영양염류 계절적 변화와 기초생산 제한인자에 관한 연구에서 하절기 용존무기질소가 생물생산을 제한하고 있다고 하듯이, 본 연구에서도 DIN/DIP 비율을 보면 표·저층 모두 18년 평균치도 표층 19.5, 저층 10.4로 Redfield 지수에 따르면 용존무기질소가 제한인자로 작용될 뿐만 아니라, 18년 평균치 이하의 연도가 훨씬 많음에 따라 득량만의 용존무기질소는 표층과 저층의 식물플랑크톤 생산에 많은 영향을 미칠 수 있다고 본다. 하절기 중 8월은 N:P 비율이 상당히 저조한 관계로 용존무기질소는 거의 강수량에 의존된다는 것을 알 수 있다. 김과 박 (1998)에 따르면 득량만의 저층 퇴적물에서는 질소와 인이 다소 낮게 용출되고 있다고 보고하였다. 이러한 원인으로 외부

로부터 유기물의 공급이 적어 저층으로 침강되는 영양염이 적고, 침강된 영양염은 저서서식생물에 의해서 많이 섭취되기 때문이라고 설명하고 있다. 따라서 득량만의 하절기 용존무기질소 및 용존무기인의 공급은 거의 비에 의존된다고 생각된다. Table 2에서 염분과 용존무기질소와 용존무기인은 음의 상관성을 보여 주로 담수 유입에 의해 만내로 공급되는 것을 알 수 있다. 이렇게 공급된 영양염은 식물플랑크톤과 Chl-*a*와 양의 상관성을 보여 하절기 강수량은 득량만의 기초생태계를 유지시켜주는데 매우 중요한 역할을 하고 있다고 설명할 수 있다.

18년 하절기 동안 득량만에 출현한 식물플랑크톤 중 와편모조류(13-16속) 보다 규조류(20-25속)가 많이 출현되어 규조류가 기초생태계의 주요 인자일 뿐 아니라 먹이원인 것을 알 수 있다(Table 3, 3-1, 3-2, 3-3). 특히 규조류 중에서 *Chaetoceros* 속, *Coscinodiscus* 속, *Skeletonema* 속은 거의 매년 출현하는 종으로 득량만의 대표종으로 간주할 수 있다. 이처럼 하절기에 규조류가 우점으로 형성하고 있다는 것은 윤 (1999) 및 윤과 김 (2003)의 보고와 일치되었다. 따라서 득량만에서 생산하고 있는 조개류의 주요 먹이원인 식물플랑크톤은 급변하는 환경변화에도 불구하고 하절기 동안 안정적인 생물량을 유지시켜주는 것으로 판단된다. 반면에, 와편모조류도 규조류보다 세력이 떨어지지만 일정한 종 조성을 보여주고 있어 규조류 다음으로 조개류의 주요 먹이생물로 충분히 작용할 것으로 본다. 특히 *Ceratium* 속은 와편모조류 중에서 거의 매년 출현하는 종으로 득량만의 와편모조류 대표종으로 간주해도 큰 무리가 없을 것으로 판단된다. 단, 와편모조류 중 6월을 제외한 7월, 8월, 9월에 출현한 *Coccolodinium polykrikoides* 출현은 직접적인 조개류 폐사를 유발시키지는 않지만(김 등, 1999), *C. polykrikoides* 적조는 수산생물에게 많은 피해를 주기 때문에(김 등, 1999), 득량만의 안정적인 수산물 생산을 위해서는 식물플랑크톤 모니터링이 반드시 필요하다. 따라서 득량만의 식물플랑크톤은 용존무기질소, 용존무기인 및 Chl-*a*와는 뚜렷한 양의 상관성을 보이기 때문에(Table 2) 하절기 강수에 의한 영양염 공급은 식물플랑크톤 성장에 절대적으로 필요하며 식물플랑크톤도 이용률이 높은 것으로 보인다.

본 연구의 결과 득량만의 하절기 해양환경은 연도에 따라 많은 변동을 나타내고 있지만, 수온을 제외한 나머지 수질환경인자 및 식물플랑크톤 부족으로 인한 조개류 생산량 및 채묘 부진에 많은 영향을 주지 않을 것으로 본다. 특히 조개류 유생 출현량이 가장 많고 저층과 표층이 현저하게 분리되는 8월의 경우 부유 유생이나 저층에 서식하고 있는 조개류에게 많은 영향을 미칠 것으로 본다. 이러한 영향은 2000년을 기점으로 이전과 이후에도 집중적인 일조량으로 인하여 스트레스를 미치는 강도는 비슷할 것으로 추측된다. 최근의 조개류 생산량과 채묘가 좋지 못한 이유로는 생물학적 다양성이 다소 떨어지는 것으로 내다본다. 왜냐하면 득량만은 폐쇄성이 강한 해역이기 때문에 외부에서 유입되는 유전자 이입율이 많이 떨어져 자체내의 유전자 집단을 형성하고 있기 때문이다. 따라서 시간의 진화과정을 통하여 환경변화에 대한 적응력 손실로 조개류의 생산에 많은 장애가 되지 않았나 본다 (Avisé, 1994). 이러한 점은 유전학적 연구조사를 통하여 좀 더 심도있게 살펴볼 필요가 있을 것으로 본다.

## 5. 결론

본 조사는 1987년부터 2010까지 득량만을 대상으로 하절기 연도별 수질환경 및 식물플랑크톤 군집변동을 실시했다. 수온, 염분, pH, 용존산소와 같은 수질환경인자들은 연도별로 많은 변동을 보여주고 있다. 특히 수온의 경우 하절기 중에서 8월에 18년 평균치(24.54°C)를 상회하는 연도횟수가 가장 많을 뿐 아니라 저층도 18년 평균치(22.90°C)를 넘는 연도가 훨씬 많았다. 이러한 주요 원인으로 하절기 중에서 8월에 가장 많은 일조량으로 인하여 표·저층 수온상승에 따른 뚜렷한 성층화 형성으로 설명될 수 있다. 8월에도 강수량이 하절기 중에서 가장 많으나 수온을 하강시켜주거나 염분변화에 큰 영향을 미치지 못했다. 용존무기질소나 용존무기인의 농도는 하절기 동안 대부분 18년 평균치 이하의 연도가 많이 나타남에 따라 득량만의 영양염 농도는 다소 낮은 상태로 유지되는 것 같고 N:P 비율도 하절기 동안 대부분 18년 평균치 이하를 보이고 있다. 특히 8월 표층에서 N:P 비율의 급변은 집중적인 강우로 인하여 발생한 것으로 보인다.

다. 득량만에 하절기 동안 출현하는 식물플랑크톤의 종 조성은 월별로 관계없이 거의 일정한 수준으로 나타나고 있다. 규조류의 대표종으로는 *Chaetoceros* 속, *Cosinodiscus* 속, *Skeletonema* 속이 간주되고 있으며, 와편모조류의 대표종으로는 *Ceratium* 속이다. 생물량으로는 규조류가 와편모조류보다 우점으로 보였다. 또한 식물플랑크톤 하절기 영양염류에 대한 양의 상관성을 보여 농도가 다소 낮더라도 잘 이용하는 것으로 보인다. 이러한 높은 이용률이 득량만 조개류의 주요 먹이원인 식물플랑크톤 공급에 일정한 상태를 유지시켜주는 것으로 주요인으로 추측된다. 최근 득량만의 조개류 생산과 채묘부진의 원인으로는 수질환경요인 중 하절기 고수온이 가장 큰 영향을 미칠 수 있겠으나, 이러한 요인이 2000년 전후로 거의 동일한 영향을 미치고 있기 때문에 폐쇄성이 강한 득량만에 서식하는 조개류의 유전적 다양성이 다소 떨어지기 때문에 직접적인 생산과 채묘율에 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 연구는 국립수산과학원 (수산업의 기후변화에 대한 영향연구 및 대응전략, RP-2011-ME-018)의 지원에 의해 운영되었습니다.

## 참고 문헌

- 공영세, 이병걸, 1994, 득량만의 퇴적물 및 부유물 특성, 한국해양학회지, 29(3), 269-277.
- 김도희, 박청길, 1998, 득량만 퇴적물로부터 영양염 용출 평가, 한국환경과학회지, 7(4), 425-431.
- 김정배, 박정임, 정춘구, 최우정, 이원찬, 이용화, 2010, 가막만 빈산소 수괴 수멸기의 물리화학적 특성, 해양환경안전학회지, 16(3), 241-248.
- 김철원, 권승배, 허성범, 2006, 득량만에서 조개류 유생의 분포, 한국양식학회지, 19(4), 288-298.
- 김학균, 최우정, 정영균, 정창수, 박종수, 안경호, 백철인, 1999, 나로도 인근해역에서 *Cochlodinium polykrikoides* 적조의 최초발생과 환경, 수진연구보고, 57, 119-129.
- 류상옥, 김주용, 장진호, 조영길, 신상은, 은고요나, 2006, 조간대성 해빈 퇴적물의 이동양상에 관한 연구 1. 한국 남해안의 득량만, 한국지구과학회지, 27(2), 221-235.

- 마채우, 홍성운, 임현식, 1995, 득량만의 저서동물 분포, 한국수산학회지, 28(4), 503-516.
- 양한섭, 김성수, 김규범, 1995, 득량만 표층수층 영양염류의 시공간적 분포특성 1. 영양염류의 계절변화와 기초생산 제한인자, 한국수산학회지, 28(4), 475-488.
- 유성규, 2000, 천해양식, 구덕인쇄사, 639.
- 윤양호, 1999, 득량만 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포특성, 한국환경생물학회지, 17(4), 481-492.
- 윤양호, 2003, 득량만 표층 퇴적물 중 유기물의 시·공간적 분포 및 기원, 환경과학회지, 12(7), 735-744.
- 윤호섭, 정형택, 곽은주, 라성주, 최상덕, 2001, 고수온기 가막만 피조개 (*Scapharaca broughtonii*) 양식장 환경과 대량폐사, 공동학술대회 발표 요약집, 한국어업기술학회, 371-372.
- 이병걸, 조규대, 최용규, 1996, 득량만의 조석주기 및 계절변동에 따른 투명도의 변동특성, 한국어업기술학회지, 32(4), 386-394.
- 이재철, 노홍길, 조규대, 신상일, 김상우, 김상현, 1995, 1992년 하계 득량만 서부해역의 조류 특성, 한국수산학회지, 28(1), 1-6.
- 조현서, 김용옥, 이규형, 1999, 득량만 남서해역의 계절별 수질변동 특성, 가을학술 발표회 초록집, 한국환경과학회, 216-217.
- 최용규, 조규대, 이병걸, 홍철훈, 1995, 수심에 따른 득량만 키조개 어장의 환경 특성, 한국어업기술학회지, 31(2), 127-141.
- 최용규, 홍성근, 1997, 여름철 득량만의 열속과 관련한성층, 한국환경과학회지, 6(6), 579-587.
- 한동훈, 홍성운, 마채우, 1995, 득량만이 동물플랑크톤의 분포, 한국수산학회지, 28(4), 517-532.
- 해양수산부, 2002, 해양환경공정시험방법, 해양수산부, 330.
- Avise, J. C., 1994, Molecular markers, natural history and evolution. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 511.