

## 한국남부 연안의 영양상태 평가와 저층 경계면의 중요성

이재성 · 김기현<sup>1</sup> · 김성수 · 정래홍 · 박종수 · 최우정 · 김귀영 · 이필용 · 이영식 · 박영철 ·  
김평중 · 이원찬 · 권정노 · 엄기혁 · 최정일 · 전경암 · 한정희<sup>2</sup>  
국립수산과학원 해양환경부, <sup>1</sup>충남대학교 해양학과, <sup>2</sup>기초과학지원연구소

## The Assessment of Trophic State and the Importance of Benthic Boundary Layer in the Southern Coast of Korea

JAE SEONG LEE, KEE HYUN KIM<sup>1</sup>, SEONG SOO KIM, RAE HONG JUNG, KUI YOUNG KIM, JONG SOO PARK,  
PIL YONG LEE, YONG SIK LEE, WOO JUNG CHOI, YONG CHUL PARK, PYUNG JUNG KIM, WON CHAN LEE,  
JUNG NO KWON, KI HYUK UHM, JEONG IL CHOI, KYUNG AHM JEON AND JUNG HEE HAN<sup>2</sup>

Research Management Department, NFRDI, Busan 619-902, Korea  
<sup>1</sup>Department of Oceanography, Chungnam National Univ., Daejeon 305-764, Korea  
<sup>2</sup>Isotope Research Team, Korea Basic Science Institute, Taejeon 305-333, Korea

국립수산과학원에서 수행한 국가해양환경측정망 운영 결과 중 생지화학적 자료를 이용하여(1997~2002, 6년간) 한국 남해 연안의 영양상태를 평가하였다. 비행열 다차원 척도법 분석결과로 남해연안은 3개의 영양 상태로 구분되었다. 빈산소 수괴가 형성되며 용존성 무기질소와 인농도가 매우 높은 마산만은 과영양 상태였으며, 강한 점원 오염원이 있는 울산만, 온산만, 부산 연안, 진해만은 부영양 상태로 추정되었다. 그리고 그 외 여수, 통영, 목포 주변 연안과 제주도 연안은 중영양 상태로 나타났다. 실측 용존무기질소와 Redfield 비로 보정된 이론적 용존무기질소의 차이인 과잉 질소의 6년간 평균은 오염된 하천이 유입되는 울산, 온산, 부산 연안에서 큰 양의 값을 보였고 행암, 광양, 여수 연안이 음의 값을 나타내어 기초생산자의 성장 제한 물질이 서로 다르게 작용할 수 있음을 시사하고 있다. 또한 과잉 용존무기질소는 시계열 분석 결과 과-부영양화된 해역에서 점차 감소하였으나 중영양 해역은 점차 증가하고 있어 해역의 영양상태에 따라 질소 대 인의 비가 변화하고 있었다. 과-부영양화의 진행에 따른 저층 퇴적물의 유기물 오염은 질소와 인의 생지화학적 순환을 교란시킬 것으로 예상되며, 향후 더욱 정확한 연안 환경영향을 파악하기 위해서는 저층 경계면의 연구가 반드시 포함되어야 할 것으로 판단된다.

The trophic state of the coastal waters of the southern part of Korea was assessed using biogeochemical data obtained from the National Marine Environmental Monitoring Program conducted by the National Fisheries Research and Development Institute for six years. The trophic state of different areas, analyzed by non-metric multi-dimensional scaling (MDS) analysis, could divide the areas into three groups. Masan Bay, with suboxic water masses and/or the highest concentrations of dissolved inorganic nitrogen and phosphorus occurred, was assessed as being in a hypertrophic state. Ulsan Bay, Onsan Bay, Busan and Jinhae Bay, located near strong point sources, were in a eutrophic state. Other areas, including Tongyeong, Yosue, Mokpo and Jeju island, were evaluated as being in a mesotrophic state. During 1997 to 2002, the average values of excess nitrogen, which is the difference between the measured dissolved inorganic nitrogen (DIN) and the corrected DIN using the Redfield ratio, were positive at Ulsan, Onsan, and Busan, where there were inflows from polluted rivers. In contrast, those were negative values in Haengam Bay, Gwangyang Bay and nearby Yosue. This suggests that the limiting element for phytoplankton growth differed among sites. The time series data of excess nitrogen showed gradual decrease over time in the hypertrophic waters, but the opposite trend in the mesotrophic waters. This indicated that the ratio of nitrogen to phosphate varied according to the trophic state of the coastal waters. The enrichment of organic matter in sediment in eutrophic waters would disturb the normal pattern of biogeochemical cycling of nitrogen and phosphate. In order to assess the condition of the coastal environment, the benthic boundary layer should be considered.

**Keywords:** Trophic State, Eutrophication, Redfield Ratio, South Sea

\*Corresponding author: leejs728@nfrdi.re.kr

## 서 론

연안은 급속한 산업화에 쉽게 교란될 수 있다. 해역의 부영양화(eutrophication)는 해양생태계 전반에 걸쳐 악 영향을 주고 있다. 부영양화의 사전적 의미는 과잉의 영양염이 해양에 공급되어 기초생산자의 대 번식을 일으키고 생성된 혹은 외부에서 유입된 유기물이 수중 혹은 퇴적물에서 산화되면서 수중의 산소를 소비하여 빈산소 혹은 무산소 수위가 만들어지는 현상을 말한다(Smith *et al.*, 1999). 결과적으로 부영양화는 해양생태계에 악 영향을 줄 수 있는 잠재적 위험 요소로 이해되어 많은 관심이 집중되는 연구 분야 중 하나이다(Vidal *et al.*, 1999).

해역의 영양상태(trophic state)는 다양한 평가 기준에 의해 빈영양(oligotrophic), 중영양(mesotrophic), 부영양(eutrophic), 과영양(hypertrophic) 상태로 구분된다(Nixon, 1995; Wasmund *et al.*, 2001). 평가에 이용되는 대표적인 변수로는 1)질소(nitrogen: N)와 인(phosphate: P)의 농도 그리고 N/P 비, 2) 유기물질의 플럭스, 3) 기초생산력, 4) 투명도 등이 있다. 이 중 질소와 인의 농도와 N/P 비를 이용하는 것이 가장 일반적인 방법이다(Wasmund *et al.*, 2001).

해양에서 기초생산자 성장에 필수 영양 성분 중 대표적인 물질은 질소(N)와 인(P)이다. 연안에서 이들의 주 공급원은 하천이며, 오염 영향을 많이 받는 성분들이다. 이 두 성분의 농도와 N/P비는 복잡한 생지화학적 순환과 인위적 요인에 의해 변화될 수 있다(Harrison *et al.*, 1990; Hänninen *et al.*, 2000).

해양에서 질소 대 인의 분자량물 비(N/P 비)는 15~16이다. 식물플랑크톤은 질소와 인을 같은 비율로 흡수하여 성장한다. 따라서 이 비는 기초생산에서 질소와 인의 상대적 중요성을 의미한다. 즉, 해수에 N/P 비가 15~16보다 작으면 질소에 비해 인이 상대적으로 풍부함을 시사하며 식물플랑크톤 성장에 질소가 성장제한 물질로 작용할 수 있음을 시사한다. 그리고 이 반대의 경우는 인이 성장제한 물질로 될 수 있다. 이러한 개념은 기초생산자인 식물플랑크톤의 생물·생태적 의미와 부영양화의 진행과정을 이해하는데 중요한 지표로 이용되고 있다(Harrison *et al.*, 1990; Justić *et al.*, 1995; Béthoux *et al.*, 2002).

인간의 활동은 연안수에서 질소, 인의 생지화학적 순환을 변형시키고 결과적으로 두 성분의 상대비가 바뀌게 한다. Harrison *et al.*(1990)은 중국 황하강 양자강 유역에서 N/P의 비가 일반 해역보다 매우 높음을 보고했고 그 이유로 질소비료의 과잉 사용으로 설명하고 있다. 또한 하계에 수층 혹은 퇴적물에서 무산소 환경 형성으로 인은 퇴적물에서 점차 용출되어 수층으로 공급되는 반면, 질소는 퇴적물에서 질산화(nitrification) 및 탈질산화(denitrification) 반응에 의해 제거되므로 N/P 비가 변화될 수 있다(Seitzinger *et al.*, 1984; Howarth, 1988; Fisher *et al.*, 1992). 특히, 인위적인 N/P 비 변화는 연안의 부영양화와 밀접한 관계가 있다. 그리고 N/P 비 변화는 기초생산자 중 천이를 유발하고 먹이사슬의 구조를 변화시켜 연안생태계를 교란시킨다고 보고되고 있다(Justić *et al.*, 1995; Yamamoto, 2003).

우리나라 연안과 그 주변 지역은 빠른 속도로 도시화와 공업화가 진행되고 있다. 과거 40여년간 지속된 인위적인 교란은 해역의 영양상태에 영향을 주고 있다. 부영양화가 진행된 또는 진

행중인 해역은 주기적으로 적조가 발생하며, 일부 반폐쇄성 만에서는 무산소 환경이 만들어져 해양생물의 대량 폐사가 빈번히 일어난다. 따라서 연안의 정확한 영양상태를 파악하는 것은 연안 환경을 관리하고 보호하는 관점에서 중요하다.

이 논문은 1997년 2월부터 2002년 11월까지 총 24회의 한국 남부연안의 해양환경측정망 조사결과를 정리한 것이다. 논문의 내용은 1) 6년간 자료를 이용하여 연안환경의 실태를 정리하고 연안별 특성을 이해하며, 2) 남해 연안의 해역별 영양상태, 질소와 인의 시공간적 변화를 파악하여, 3) 영양단계에 따른 질소, 인의 생지화학적 순환과 앞으로의 연구방향을 제시한 것이다.

## 재료 및 방법

울산만에서 함평만까지 지리적 위치에 따라 연구지역을 1) 울산-온산만, 2) 부산 연안, 3) 마산-진해만, 3)통영 연안, 4) 여수 연안, 5) 제주 연안, 6) 목포 연안으로 구분하였다(Fig. 1). 총 조사지점은 128개로 현장조사와 시료채취는 연 4회(2월, 5월, 8월, 11월), 거의 동일한 시기에 국립수산과학원 소속 5개 연구소(국립수산과학원 환경관리팀, 양식환경연구소, 남해수산연구소, 제주수산연구소, 해조류연구센터)에서 실시하였다.

### 분석방법

이 연구에서 사용한 해수는 표층(수심 1 m 이하)과 저층(바닥에서 1 m 위)에서 채취되었으며, 수질분석기(YSI 6000)를 사용하여 현장에서 수온, 염분, 용존산소를 측정하였다. 용존산소 자료의 보정을 위해 일부 시료는 채수 후 즉시 용존산소병에 조심스럽게 옮긴 후 고정시약을 첨가하여 고정된 후 실험실에서 Winkler 적정법으로 분석하였다. 화학적 산소요구량(COD)은 시료를 알칼리화 하여 과망간산칼륨법으로 분석하였다(해양환경공정시험법, 1998).

영양염 분석용 시료는 채수된 해수를 현장 혹은 당일 실험실에서 공극 0.45  $\mu\text{m}$  박막여과지(cellulose membrane filter, Millipore)를 이용하여 여과 한 후 분석 전까지  $-20^{\circ}\text{C}$  이하의 온도에서 냉동 보관하였다. 암모니아-질소( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )는 시료에 phenol과 sodium nitroprusside를 첨가 한 후 알칼라인 시약과 차 염소산을 가해 발색시킨 후 파장 640 nm에서 흡광도를 측정하였다. 아질산-질소( $\text{NO}_2^-\text{-N}$ )는 시료에 sulfanilamide와 N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride을 가해 Azo-dye 발색 시켜 파장 543 nm에서 흡광도를 측정하였다. 질산-질소( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ )는 시료를 Cd-Cu 환원관을 통과시켜 환원시킨 후 아질산-질소와 같은 방법으로 분석하였다. 인산-인( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )은 시료에 ammonium molybdate, sulfuric acid, potassium antimonyl tartrate을 가한 후 ascorbic 산으로 환원, 발색시켜 파장 885 nm에서 흡광도를 측정하였다(해양환경공정시험법, 1998).

클로로필-a는 해수시료 약 250 mL를 공극 0.45  $\mu\text{m}$  박막여과지(cellulose membrane filter, Millipore)로 여과한 후 여과지에 아세톤 10 mL를 첨가하여 추출하였다. 추출된 시료는 형광광도계를 이용하여 측정하였다. 부유물질은 미리 무게를 측정된 유리 섬유여과지를 이용하여 해수 500 mL를 여과 건조하여 여과 전후의 무게차로 계산하였다(해양환경공정시험법, 1998).

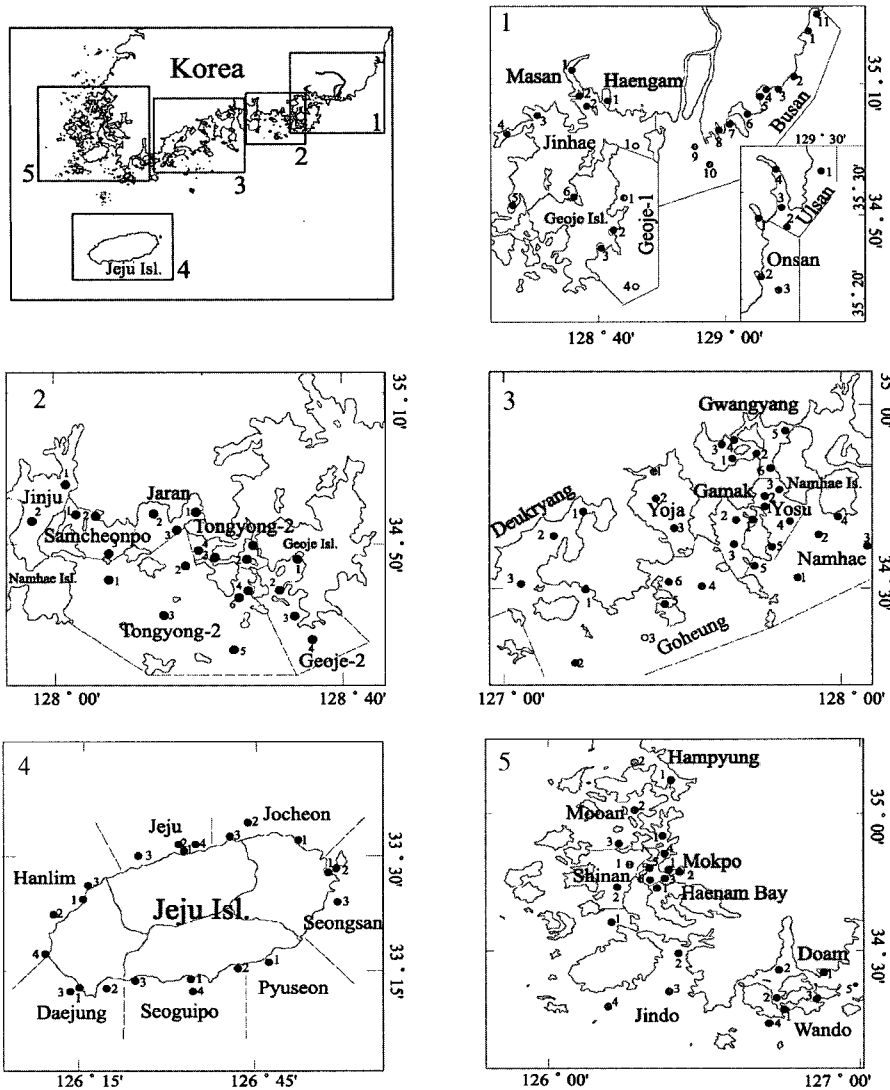


Fig. 1. Maps showing the fixed monitoring sites in the southern part of Korea.

**자료 처리(Non-matrix multidimensional scaling analysis)**

남해 연안의 계절별 해역의 특성은 하계에 뚜렷한 경향을 보인다. 담수가 유입되는 일부 해역의 표층수에서 낮은 염분과 높은 용존무기질소의 농도를 보였다. 또한 부영양화가 상당히 진행된 반 폐쇄성 해역은 저층에서 낮은 용존산소를 나타낸다. 부영양화가 영양염이 과잉으로 공급되어 생산력을 증가시키고, 기초생산자와 외부에서 유입된 유기물이 수층과 퇴적물에서 산화되어 빈산소 또는 무산소 수괴를 형성하는 현상을 의미한다면 하계 자료는 해역의 영양상태를 판단할 수 있는 좋은 자료이다. 그 이유로는 1) 남해연안은 수심이 얇아 물리적 힘에 의해 하계를 제외 한 계절은 대부분 성층이 잘 형성되지 않아 저층의 빈산소 현상을 볼 수 없으며, 2) 계절적 특성으로 인해 하계에 육지 기원의 물질이 집중적으로 공급되며, 3) 하계에는 기초생산력이 높기 때문이다. 따라서 해역별 부영양 특성을 평가하기 위해 1997년에서 2002년까지(6년간) 8월의 생지화학적 자료를 선택하여 통계프로그램 Primer™ (Ver. 5)을 이용하여 비행렬 다차원 척도법(non-matrix multidimensional scaling analysis)을 시도하였다. 다

차원 척도법(MDS)은 군집분석과 같이 분석 대상 개체의 변수를 이용하여 유사성 혹은 비유사성을 계산한 후 2차원 공간상에 개체를 표현하는 통계분석기법이다. 특히, 비행렬 다차원 척도법은 순서척도 결과를 이용하는 방법으로 분석개체의 특성을 그룹화하는데 사용된다. 분석시 각 변수간 차원의 상대적 크기를 동일화하기 위해 표준화(standardization)한 자료를 이용하였다.

**결과 및 고찰**

한국남부 연안의 6년간(1997~2002) 년 4회(2월, 5월, 8월, 11월) 측정한 표층수와 저층수의 수온, 염분, pH, 용존산소, 화학적 산소요구량, 용존무기질소, 용존무기인 자료를 부록에 요약하였다.

**계절별 연안의 해수질 특성**

2월의 수온과 염분은 수심이 얇은 반폐쇄성 만에서 저온, 저염인 반면 대마난류의 영향을 받는 제주주변연안에서 고온, 고염이었다. 일부 반폐쇄성 만 중 수심이 얇은 목포주변해역에서 표

층수의 수온이 저층수 보다 약 2°C 낮았다. 이는 낮은 대기온도에 의해 표층수가 냉각되어 생긴 현상으로 생각된다. 용존산소는 대부분의 해역에서 표·저층 모두 포화농도를 초과하고 있었다. 화학적산소요구량은 대부분의 해역에서 2 mg L<sup>-1</sup> 이하의 농도였으나 진해-마산만에서 2 mg L<sup>-1</sup>를 초과하였다. 울산, 온산, 부산, 행암만의 표층수와 저층수의 용존무기질소(dissolved inorganic nitrogen: nitrite+nitrate+ammonium) 농도는 약 40 μmol L<sup>-1</sup> 이상으로 타 해역에 비해 약 2~4배 높았다. 그리고 용존무기인(dissolved inorganic phosphate)의 농도는 행암만과 마산만 저층수에서 약 2~4 μmol L<sup>-1</sup> 범위로 갯벌이 우세한 목포 주변 해역보다 약 10배 이상 높은 결과였다.

5월의 수온은 해역별로 뚜렷한 구분은 없었으나 완도와 진도 연안에서 기타 해역에 비해 약 1°C 이상 낮았다. 그리고 염분은 2월과 유사한 지리적 분포특성을 나타냈다. 마산만 저층수의 용존산소 농도 범위는 2.11~8.86 mg L<sup>-1</sup>, 평균 5.70 mg L<sup>-1</sup>로 타 해역에 비해 약 30% 정도 낮은 결과였다. 화학적산소요구량은 행암만과 마산만에서 약 2.5~3.7 mg L<sup>-1</sup>로 가장 높았다. 용존무기질소 농도는 점원오염원이 분포하는 해역을 제외한 대부분의 해역에서 2월에 비해 약 절반 수준의 농도였으며, 용존무기인 역시 유사한 농도 차이를 나타냈다. 그러나 행암만과 마산만은 표·저층수의 용존무기인이 2.46~4.40 μmol L<sup>-1</sup>로 높은 농도를 유지했다.

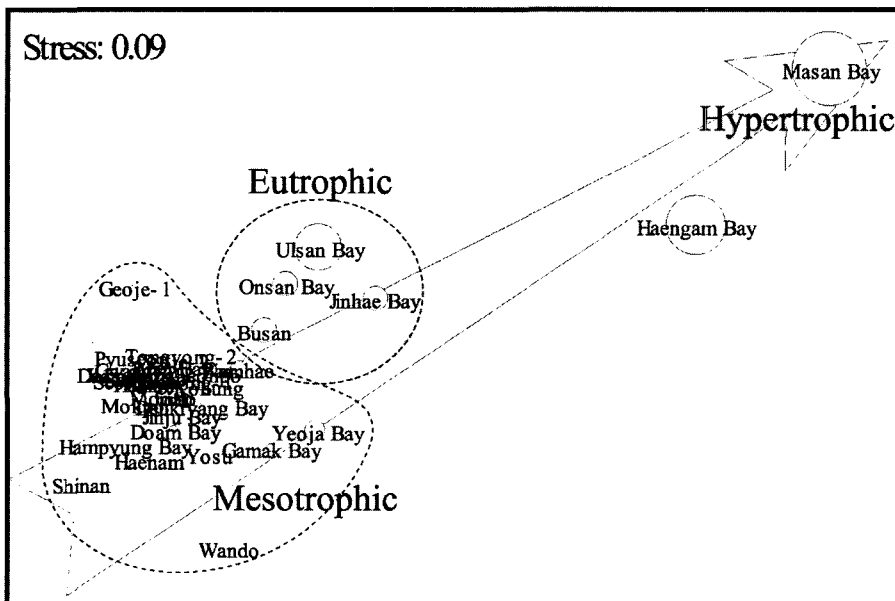
8월의 수온은 온산, 울산, 부산 연안이 타 해역에 비해 약 1~4°C 낮았다. 또한 대기와 열 교환 영향으로 함평만과 같은 반폐쇄성 만이며 수심이 극히 얇은 곳에서 고온이었다. 특히, 수심이 얇은 해역에서 표·저층의 수온차는 작아 열에 의한 성층이 약한 것으로 나타났다. 염분은 마산만 표층에서 27.46으로 연안 중 가장 낮았다. 용존산소는 일부 해역의 표층수에서 매우 높아 식물플랑크톤의 대 증식이 있었음을 시사했다. 또한 부영양화가 상당히 진행된 해역으로 알려진 마산만의 저층수 용존산소 농도는 0.81~7.44 mg L<sup>-1</sup>(평균: 2.99 mg L<sup>-1</sup>)로 빈산소 수괴 기준(< 3.6

mg L<sup>-1</sup>) 이하였다(Yanagi, 1989; Sekin *et al.*, 1995). 화학적산소요구량은 행암만과 마산만에서 각각 3.24 mg L<sup>-1</sup>, 3.80 mg L<sup>-1</sup>로 높았다. 용존무기질소는 2월, 5월과는 달리 행암만과 마산만에서 평균 농도 55 μmol L<sup>-1</sup>, 75 μmol L<sup>-1</sup>로 높게 나타났으며, 담수가 유입되는 해역을 제외하고는 대부분 저층수가 표층수에 비해 높은 농도를 나타냈다. 용존무기인의 농도는 다른 조사시기와 동일하게 행암만과 마산만에서 높았다.

11월의 해역별 수온은 2월과 유사한 차이를 보였다. 즉, 대마난류의 영향을 받는 제주에서 고온 및 고염이었고 수심이 얇은 반폐쇄성 만에서 상대적으로 저온·저염의 특성을 나타냈다. 용존산소는 대부분의 해역에서 포화농도를 초과했다. 그리고 화학적산소요구량은 행암만 및 마산만에서 높은 농도를 보였다. 용존무기질소는 표층의 경우 울산만에서 26 μmol L<sup>-1</sup>, 저층은 행암만에서 25 μmol L<sup>-1</sup>로 높았다. 용존무기인은 전 조사시기와 동일하게 행암만, 마산만, 광양만 및 여수 연안에서 높은 농도였다.

**해역별 영양상태 평가**

해역의 영양상태 평가는 우리가 사용한 인자 이외에 퇴적물로 유입되는 유기물 플럭스, 퇴적물내 유기물의 생화학적 조성, Chl-a, 투명도 등 다양한 생화학적 인자가 복합적으로 이용된다(Smith *et al.*, 1999; Wasmund *et al.*, 2001; Dell'Anno *et al.*, 2002). 이는 영양상태 판단 기준이 연안의 특이성과 복잡한 생지화학적 반응 등에 의해 절대적일 수 없음을 보여준다. 이런 이유로 영양상태 평가에 객관적인 정량-정성적 해석도구와 해역의 고유한 특성에 맞는 기준이 요구된다(Cognetti, 2001). 이 연구의 영양상태 평가는 단순한 생지화학적 변수(Chl-a, DIN, DIP)를 이용한 결과이다. 따라서 우리가 제시한 결과가 해역 특성을 대표하는 영양상태로 판단하기에 다소 무리가 있을 수 있다. 그러나 기본적으로 질소와 인의 농도가 기초생산자의 성장 및 현존량에 밀접한 관계가 있고, 조사해역의 지리 및 기상학적 특성이 비슷하기 때문에 각 해역의 상대적인 영양상태를 표현하기에 충분하다고 판단된다.



**Fig. 2.** Non-matrix MDS ordination of normalized Euclidean distance of standardized physico-chemical data from 28 sites. MDS stress was 0.09. The first group including the coastal waters of Mokpo, Yosu, Tongyeong and Jeju Island, was characterized by relatively good water quality compared with other coastal waters. The second group, with Ulsan, Onsan, Jinhae and Busan, included semi-enclosed bays that were expected to have a long residence time of water parcel and to receive heavily polluted Nakdong and Tachwa river water. These areas showed the highest levels of dissolved inorganic nitrogen and phosphate, except for Masan Bay and Haengam Bay. Masan Bay, which is well known as the most polluted area in the southern coastal waters of Korea, was placed at hypertrophic end.

**Table 1.** A scheme for trophic state classification proposed by Wasmund *et al.* (2001)

	Chl a	PO <sub>4</sub>	DIN
	( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )	
Oligotrophic	<0.8	<0.2	<2
Mesotrophic	0.8-4	0.2-0.8	2-10
Eutrophic	4-10	0.8-3	10-60

Fig. 2는 비행렬 다차원 척도법 분석 결과를 나타낸 것이다. Fig. 2에서 원의 크기는 표층 용존무기질소의 상대적 크기를 표현한 것이다. 한국남부 해역은 3개의 그룹으로 나뉘었다. 평면상에서 마산만은 가장 멀리 떨어져 있고 울산만, 온산만, 진해만, 부산 연안이 한 그룹을 형성하고 있으며, 행암만은 이들 사이에 위치해 있다. 그 외 해역들은 큰 거리 차이를 두지 않고 몰려있다.

Wasmund *et al.*(2001)이 제시한 평가 기준을 이용하여 조사해역의 영양상태를 평가하였다(Table 1). 마산만 표층수의 Chl-a, 용존무기질소 및 용존무기인 평균농도는 부영양화기준( $4 < \text{Chl-a} < 10 \mu\text{g L}^{-1}$ ;  $10 < \text{DIN} < 60 \mu\text{mol L}^{-1}$ ;  $0.8 < \text{DIP} < 3 \mu\text{mol L}^{-1}$ )을 초과하고 있어 과영양상태(hypertrophic state)로 추정되었다. 행암만, 진해만, 울산만, 온산만, 부산연안은 부영양상태(eutrophic state)에 속했다. 여기서 행암만은 부영양상태 해역보다 용존무기질소와 용존무기인이 높았고 저층에서는 용존산소 농도가 낮았다. 따라서 행암만은 과영양상태와 부영양상태의 전이적 위치에 있는 것으로 판단된다. 그 외 여수 주변, 목포 주변, 제주 주변 해역 중 일부 인자는 부영양 상태를 나타내는 것도 있지만 대부분이 중영양 상태를 나타내고 있었다. 반면, 제주도 주변 해역인 조천과 대정 연안은 Chl-a 기준만을 고려해 볼 때 빈영양상태였다.

**부영양화가 해양생태계에 미치는 영향**

한국 남부 해역 중 마산만과 행암만이 포함된 진해만은 부영양화된 대표적인 해역이다. 해양환경문제 때문에 적조발생, 부영양화, 영양염 순환, 양식장 자가 오염, 오염 역사 등 다양한 관점에서 연구가 된 해역 이다(조, 1979; Yang and Hong, 1982; Yang *et al.*, 1984; Lee and Lee, 1983; Hong, 1987; Kang *et al.*, 1993; 임과 홍, 1994; 강 등, 1996; 조 등 1998; Choi *et al.*, 1998).

정 등(1999)은 퇴적물의 층서학적 연구를 통해 마산만의 부영양화가 주변 지역이 산업화가 시작된 1960년대부터 가속화 되었고 기초생산에 의해 만들어진 유기탄소 중 많은 부분이 퇴적물에 축적 된다고 하였다. 또한 Kang *et al.*,(1999)은 표층 퇴적물의 유기물 C/N비가 10 이상으로 다량의 육상기원 유기물이 유입됨을 추정하였다.

해역의 부영양화로 생기는 대표적인 환경 문제는 저층에 빈/무산소 환경 형성이다. 이것은 수주 및 퇴적물내 산화환원 반응에 민감한 금속원소 및 영양염의 생지화학적 순환에 영향을 준다(Kristiansen *et al.*, 2002). 더불어 해양생물에 유독한 황화수소가 퇴적물에서 용출되어 해양생물의 대량 폐사를 일으킨다. 이미 조(1979)는 1978년에 마산만 저층수에서 빈/무산소 수괴를 보고했다. 그들은 이때 일어난 양식굴의 대량 폐사를 적조발생과 저층 환경의 빈/무산소 수괴 환경에 의한 것으로 추정하였다. Yang *et al.*(1982)은 하계에 마산만 저층에서 빈산소 수괴 형성

은 용존 무기인의 저층 용출(benthic flux)을 증가시킬 것 이라고 예측하였다. 그리고 Hong *et al.*(1991)은 영양염의 생지화학적 순환 연구를 통해 진해-마산만 내로 유입된 영양염이 외해로 유출이 되지 않고 만내에서 효율적으로 이용되는 것으로 추정하였다. 특히, 산소의 물질수지(mass balance) 추정 결과는 동계 저층 경계면의 산소 소모율이 오염부하가 큰 남해 반 폐쇄성 해역 및 통영 가두리 양식장 주변 퇴적물과 비슷하여 퇴적물의 유기물 오염이 상당히 진행된 것을 시사하고 있다(이 등, 2003; 2004).

신 등(2001)은 울산만과 온산만 일대에서 저서동물의 근집분포를 이용하여 퇴적물에서 유기물 오염 상태를 생물학적 관점에서 이해하고자 하였다. 점원 오염원인 태화강 하류와 온산항에서 유기물오염 지시종이 집중적으로 출현하는 것을 보고했다. 온산항의 경우 1980년대는 청정해역에서 서식하는 다모류가 우점종이었으나, 1997년에는 퇴적물 유기물 오염 지표종이 우점종으로 저서생물의 종 천이가 진행했음을 보여주었다. 그들은 이 결과를 방파제 공사 등 인위적 영향이 해수 유통을 제한시키고 결과적으로 유기오염물질이 항내에 축적되어 생긴 현상이라 결론지었다. 그 외 부산 항 및 주변 연안의 연구에서 도시 오폐수와 재무기화된 영양염이 해수에 영향을 주고 있으며, 다량의 육상기원 유기물 유입이 있는 것으로 보고되고 있다(Kang *et al.*, 1993; 박 등, 1995).

부영양화가 연안 해양생태계에 미치는 영향은 1) 식물 플랑크톤의 생물량(biomass) 증가, 2) 유해성 편모조류로의 종 천이, 3) 해파리와 같은 젤라틴 성 동물플랑크톤의 대량 번식, 4) 부유성 대형 식물플랑크톤의 증가로 수중으로 투과하는 빛을 감소시켜 저서 해산 식물의 성장 제한, 5) 저층의 빈/무산소 수괴 형성, 6) 수산 경제학적으로 가치 없는 해양 동물 종의 출현 등 이 있다(Herbert, 1999; Smith *et al.*, 1999). 이런 영향은 남해를 중심으로 보고되고 있다. 매년 주기적으로 하계에 남해에서 동해 중부까지 유해 식물플랑크톤이 대규모로 출현하여 양식생물에 막대한 피해를 주고 있고, 준계에는 독성을 지닌 식물플랑크톤 종이 마산-진해만에 출현하여 이를 섭취한 패류가 국민의 생명을 위협하고 있다. 이와 더불어 최근에 연안에서 해파리의 대 번식이 문제되고 있으며(강과 박, 2003), 잘피와 같은 저서 관속(vascular) 식물 군락 지역이 사라지고 있음이 보고되고 있다. 이상의 상황을 고려해 보면 대부분의 남해 연안 해역이 부영양화 과정에 발생하는 영향을 직·간접적으로 받고 있다.

**해역별 과잉 용존무기질소(excess dissolved inorganic nitrogen) 분포 및 변화**

해수 중 질소와 인은 기초생산자의 성장에 대표적 제한 물질(bio-limiting elements) 이다. 일반적으로 해수의 질소 대 인의 비는 15~16(Redfield ratio)로 기초생산과 산화환영에서 재무기화 과정에 동일한 비로 흡수와 분해되는 것으로 알려져 있다.

인위적 영향은 해역에서 질소와 인의 존재량 및 N/P 비에 변화를 초래한다(Harrison *et al.*, 1990). 따라서 연안수의 N/P비는 질소와 인의 생지화학적 순환과정 및 오염 영향을 포함한 정보를 제공한다. 그러나 N/P 비는 질소와 인의 상대적 비를 표현할 뿐 두 성분의 첨가 혹은 제거에 관한 것을 표현하기에는 어려움이 있다.

Wang *et al.*(1998)은 동중국해(East China Sea)에서 측정된 용존무기질소(아질산질소+질산질소)에서 Redfield ratio로 보정된 이

론적 질소 농도를 뺀 것을 “과잉 질산질소(excess nitrate)”라 정의한 후 염분과의 관계를 이용하여 양자강의 유입과 이곳에서 기초생산자 성장에 영양염의 제한물질에 대해 고찰하였다. 그리고 Tyrrell and Lucas(2002)는 Benguela 용승지역과 연안지역에서 유사한 개념(nitrate deficit)을 이용하여 탈질산화 영향과 nutrient trapping에 대해 토의하였다. 특히, 질산-질소의 결손 농도를 연안과 용승지역 간의 비교에 사용하였다.

만약 용존무기질소 및 용존무기인이 식물플랑크톤 성장에만 이용되고 Redfield ratio와 동일하게 흡수되어 유기물을 생성하며, 생성된 유기물은 같은 비율로 재 무기화 된다면, 과잉 질산질소의 값은 “0”이 될 것이다. 그리고 값이 양(+)이면 용존무기인이 식물플랑크톤 성장에 제한물질 혹은 질소의 공급이 많은 해역의 특성, 음(-)의 값은 용존무기질소가 제한물질 혹은 용존무기인이 과잉으로 공급됨을 시사한다. 그러나 연안에서는 용존무기질소 pool에 암모니아가 상당 부분을 차지함으로써 우리는 그들의 식을 아래와 같이 변형하여 과잉용존무기질소(Excess Dissolved Inorganic Nitrogen, DIN<sub>xs</sub>)를 계산하였다.

$$DIN_{xs} = ([NO_3^-] + [NO_2^-] + [NH_4^+]) - R[P] \quad (1)$$

여기서 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>는 측정된 용존성 무기 질산-질소, 아질산-질소, 암모늄-질소의 농도(μmol L<sup>-1</sup>)를 나타낸다. R은 Redfield ratio(16), P는 측정된 용존무기인의 농도(μmol L<sup>-1</sup>)이다.

Fig. 3은 1997년부터 2002년까지 6년간 한반도 남부 연안 표-저층수의 평균 DIN<sub>xs</sub>를 나타내었다. 큰 양의 값은 울산, 온산 그리고 부산 연안에서, 음의 값은 주로 남해 중부 반폐쇄성만에서 나타났다. 울산만과 부산만은 강력한 점원 오염원(point source)인 태화강과 낙동강이 위치한 곳으로 담수가 유입되는 해역이다. 위에서 언급한 것과 같이 하구 지역에서 인이 제한물질로 작용할 수 있음을 시사하고 있다. 그리고 표층에 비해 저층에서 질소가 결핍됨을 보

여주고 있다. 특히, 빈/무산소 수괴가 형성되는 마산만 및 진해만에서 질소 결핍이 컸다. 섬진강과 연결되어 있는 평양만은 질소가 기초생산자의 성장물질로 나타났다. 이 등(2001)은 이 현상을 평양만 주변에 위치한 화학공단 및 인 비료공장의 영향으로 해석하고 있다.

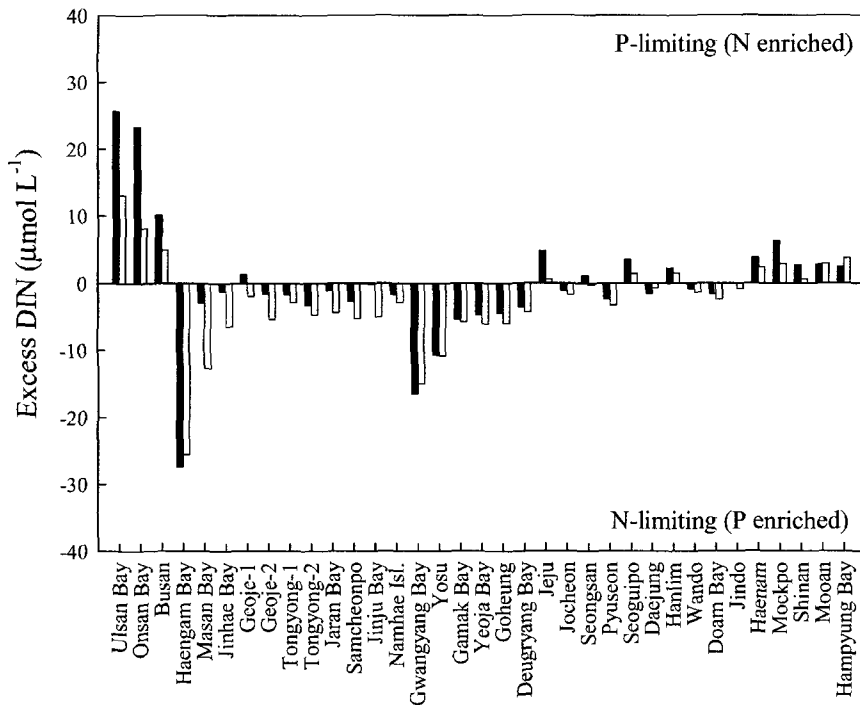
Fig. 4에 해역별 특성이 뚜렷이 다른 8개 해역의 최근 6년간 DIN<sub>xs</sub>를 나타내었다. 점원오염원이 위치한 울산, 부산, 행암, 마산만은 다소 이산된 분포로 점차 감소하는 경향을 나타내고 있다. 반면, 오염원이 적을 것으로 추정되는 제주, 한림, 진도, 신안 연안은 점차 증가하는 추세이다. 이것은 해역의 특성에 따라 질소와 인의 비가 서로 다르게 변화하고 있음을 시사한다.

**해역별 N/P 비의 변화 요인**

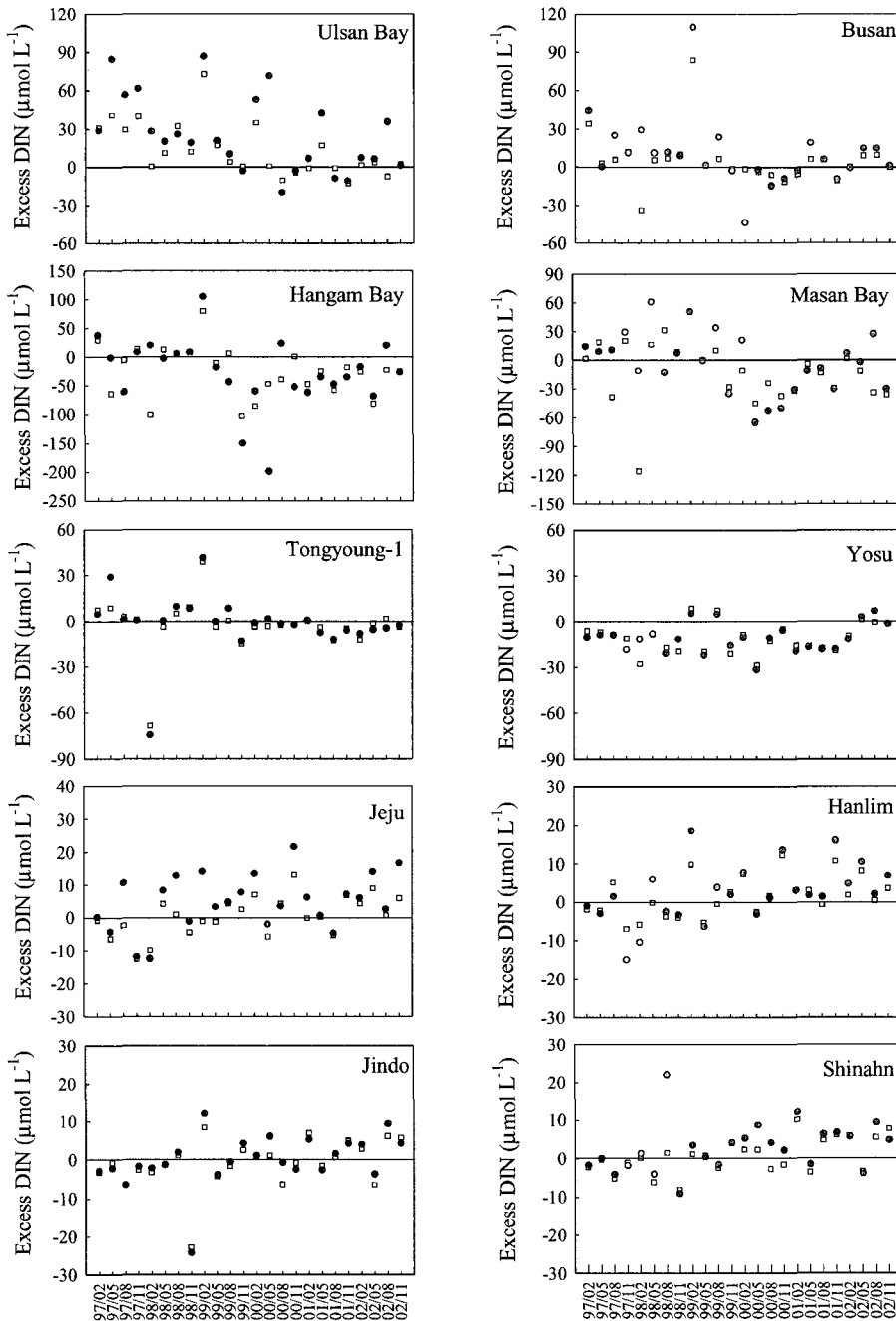
연안환경에서 N/P 비를 변화시킬 수 있는 대표적 요인으로는 1) 하천을 통해 연안으로 유입되는 인류기원(비료, 세제, 생활폐수)의 영향, 2) 질소와 인의 생지화학적 순환에 의한 영향, 3) 대기를 통한 질소의 공급 영향이 있다.(Howarth, 1988; Dubravoko et al., 1995; Tyrrell and Lucas, 2002).

과-부 영양화된 해역으로 알려진 울산만, 마산만, 부산연안에 유입되는 태화강과 낙동강의 N/P 비는 약 100~130으로 Redfield ratio 보다 큰 것으로 알려져 있어 질소가 풍부한 물이 유입되고 있다(박 등, 1995; Kang et al., 1999; http://water.nier.go.kr). 만약에 과-부영양화된 해역의 수질이 점원 오염원 영향에 결정된다면 질소는 점차 증가하는 경향을 나타내야 할 것이다. 그러나 Fig. 4는 반대의 경향을 나타낸다.

이것에 대한 가장 타당한 설명은 저층경계면에서 탈질산화 반응(denitrification)이다. 탈질산화 반응은 물 분자량으로 질소는 100정도 감소하는 반면, 인은 1이 증가하게 되어 질소와 인의 상대적 존재량 및 비를 크게 변화시킬 수 있다. Howarth(1988)는 Narragansett 만과 Patuxent 하구에서 N/P 비가 점차 감소되는 것



**Fig. 3.** Differences in the mean excess DIN values between 1997 and 2002. Solid bar indicates surface water and open bar represents bottom water. In Ulsan Bay, Onsan Bay and Busan, which are considered to be eutrophic due mostly to the inflow of the Taehwa River and Nakdong River, the most polluted rivers in the southern part of Korea, the excess DIN's were larger than those in the other coastal zones. In contrast, Haengam Bay and Gwangyang Bay had greater negative values. These are considered to be due to the enrichment of these waters with phosphate released from the fertilizer plants.



**Fig. 4.** Trends in excess DIN concentrations in coastal waters from the southern part of Korea between 1997 and 2002. Solid circles indicate surface water and open circles represent bottom water.

을 저층 재무기화시 질소의 선택적 제거, 즉, 탈질산화 반응에 의한 것이라 했다. 특히, 하계에 질소의 제거가 큰 것으로 보고 했다. 또한 Fisher *et al.*(1992)는 체사피크 만에서 N/P 비율 변화 요인으로 하계에 조성되는 퇴적물의 무산소 환경에 의한 것으로 추정하였다. 이상의 결과는 남해 일부 반 폐쇄성 만에서 보고되고 있다. 무/저산소 수괴가 형성되는 마산만에서 퇴적물/해수 계면을 통한 저층 플럭스의 N/P 비는 7 이하로 추정되었으며, 진해만 서부 해역의 패류 양식장에서는 여름철에 무산소 수괴가 형성될 때 침강유기물질의 N/P 비는 약 23인 반면, 퇴적물/해수 계면을 통해 수층으로 공급되는 비는 약 13으로 추정되어 재무기화 과정을 통해 퇴적물에서 해수로 공급되는 비가 크게 바뀌

고 있음을 보여준다(Choi *et al.*, 1998).

중영양해역 중 제주, 한림, 진도, 신안은 주변지역이 주로 농경지로 구성되어 있어, 점원 오염원의 영향 보다는 비료, 대기의 질소유입, 산화환경에서 질소와 인의 생지화학적 특성 등에 영향을 많이 받을 것으로 예상된다. Harrison *et al.*(1990)은 양자강과 황하강 주변 연안에서 질소 과잉(N/P ratio~80)을 농경에서 질소 비료를 인 비료에 비해 다량 사용해서 생긴 현상으로 해석했다. 2003년 한국화학비료협회에서 발표한 화학비료현황 보고서(<http://www.fert-kfia.or.kr/pds/upLoadFiles/>)에 의하면 2002년도 우리나라에서 소비한 질소와 인 비료는 각각 363,412 ton, 146,349 ton으로 분자량으로 환산하여 N/P비를 계산하면 약 5.5:1이다.

이들 해역이 비료 영향을 주로 받는다면, 과잉용존무기질소는 점차 감소하는 경향을 보여야 할 것이다. 그러나 질소는 점차 증가하고 있어 비료에 의한 영향은 적을 것으로 예상된다(Fig. 4).

최근 화석연료의 사용 증가는 대기를 통한 물질유입을 증가시키고 있다. 특히, 질소의 경우 많은 부분을 차지할 것으로 예상되나 국내에서는 구체적인 자료가 없어서 직접적인 인용은 불가능하다. 1990년대 이후부터 자동차 판매량의 급증, 화석연료의 사용 증가 등은 연안수에서 질소의 농도를 증가시킬 수 있을 가장 큰 요인 중 하나로 추정될 수 있다. 또 다른 가능성으로는 산화환경에서 질소와 인의 생지화학적 특성 차이가 있을 것이다. 산화환경의 수층과 퇴적물에서 유기물이 순환되면 질소와 인은 거의 Redfield ratio와 유사하게 분해되어 수층으로 공급될 것이다. 그러나 인은 산화환경에서 입자 반응성이 크므로 입자에 흡착되어 수층에서 제거된다면 질소는 점차 증가 할 가능성이 있다.

### 저층 경계면 연구의 중요성

부영양화는 결과적으로 수층과 퇴적층의 유기물 함량을 증가시킨다. 그리고 유기물은 여러 종류의 미생물이 산소, 질산염, 각종 산화형태의 미량금속 화합물, 황산염을 전자수용체로 이용함으로써 분해된다. 이 중에서 탈질산화반응은 아산화(sub-oxic)환경에서 일어나는 것으로 알려져 있다(Froelich *et al.*, 1979; Tyrell and Lucas, 2002).

연안 퇴적물의 초기속성 작용 중 탈질산화 반응은 퇴적물 산소소모율과 양의 상관관계가 있음이 밝혀져 퇴적물의 유기물 량에 비례함을 시사하고 있다. Laursen *et al.*(2002)은 탈질산화율과 퇴적물 산소소모율 간의 관계식을 아래와 같이 제시하였다.

$$\text{Denitrification} = 0.105 \times \text{sediment oxygen consumption} \quad (2)$$

이 등(2003)은 미세전극을 이용하여 남해 반 폐쇄성만의 산소소모율 범위를 10.8~27.6 mmol O<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>로 추정하였다. 이 결과를 이용하여 탈질산화율을 계산하면 1.13~2.90 mmol N m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>에 해당된다. 구체적인 질소의 유입 플럭스 자료가 없어서 질소순환계(nitrogen cycling pool)의 정량적인 해석은 불가능하지만 이 값은 부영양화 상태인 연안과 만의 결과(0.71~47 mmol N m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>)에 속하는 것으로 나타났다(Nishio *et al.*, 1983; Nowicki *et al.*, 1994, 1997; Lohse *et al.*, 1996; Nielsen and Glud, 1996). 그리고 Nixon *et al.*(1996) 질소의 탈질산화가 해수의 체류시간(% Total Nitrogen Denitrified=20.8 log(residence time)+ 22.4, R<sup>2</sup>=0.75)과 밀접한 관계가 있음을 보고했다. 한국 남부 연안과 같이 반 폐쇄성만이 많이 존재하는 해역은 해수 유통이 불량하여 체류시간이 매우 클 것으로 예상된다. 이상의 요인을 고려해 본다면 탈질산화에 의해 제거되는 질소의 양은 매우 클 가능성이 있다.

종합해 보면 연안 해역의 부영양화와 저층경계면에서 일어나는 현상은 결과적으로 질소와 인의 상대적 존재량을 변화시킬 가능성이 충분히 있다. 그리고 철과 같이 생물 기초생산에 직접적으로 영향을 주는 산화-환원 민감 금속중(redox sensitive metals)의 순환과정에 영향을 미칠 수 있다. 이는 결과적으로 식물플랑크톤의 종 조성을 변화시켜 해양생태계의 먹이사슬을 교란시킬 수 있다. 따라서 저층 경계면에서 생지화학적 반응은 연안생태계 전반에 걸쳐 직·간접적으로 관련이 있는 것으로 생각된다. 결과적으로 연안환경 연구에서 저층 경계면의 연구는 물질의 순환 및

플럭스 추정의 결과 도출 이외에 해양생태계 전반에 걸친 영향에 이해를 줄 수 있어 다양한 연구가 수행되어야 할 필요성이 있다.

## 사 사

이 연구는 국립수산과학원에서 수행하고 있는 국가해양환경측정망 연구결과 중 일부입니다. 이 연구에 현장조사와 시료채집 등 여러 부분에서 도움을 준 국립수산과학원 해양환경부 연구원 여러분들께 감사드립니다. 특히, 지난 수십 년간 연안환경 연구를 열심히 하시어 후배들에게 귀감이 되신 모 선배님 건강 회복을 진심으로 기원합니다. 마지막으로 이 논문을 검토하고 심사해 주신 부산대학교 이동섭, 안순모 교수님과 충남대학교 최만식 교수님께 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- 강영실, 박주석, 이삼석, 김학균, 이필용, 1996. 진해만 수질 환경과 동물플랑크톤 군집 및 요각류 분포 특성. 한국수산학회지, **29**: 415-430.
- 강영실, 박미선, 2003. 하계 한국 남해안 보름달물해파리(Scyphozoa: Ulmariidae: Aurelia aurita)의 출현 및 먹이섭취 습성. 한국해양학회지 바다, **8**: 199-202.
- 박영철, 양한섭, 이필용, 김평중, 1995. 겨울철 부산항 주변해역의 수질과 표층퇴적물의 환경특성. 한국수산학회지, **28**: 577-588.
- 신현출, 윤성명, 고철환, 2001. 울산만과 온산만 저서 동물군집의 공간분포. 한국해양학회지 바다, **6**: 180-189.
- 양한섭, 김성수, 김규범, 1995. 진해만 퇴적물의 퇴적속도와 중금속 오염. 한국환경과학회지, **4**: 489-500.
- 이영식, 이재성, 정래홍, 김성수, 고우진, 김귀영, 박종수, 2001. 광양만에서 식물 플랑크톤층식의 제형영양염. 한국해양학회지 바다, **6**: 201-210.
- 이재성, 김기현, 유준, 정래홍, 고태승, 2003. 산소 미세전극을 이용한 남해연안 퇴적물/해수 계면에서 산소소모율 및 유기탄소 산화율 추정. 한국해양학회지 바다, **8**: 392-400.
- 이재성, 정래홍, 김기현, 권정노, 이원찬, 이필용, 구준호, 최우정, 2004. 해상어류가두리양식장의 환경영향평가: I. 퇴적물 산소소모율 및 저서생물을 이용한 유기물 오염영향권 추정 및 유기탄소 순환. 한국해양학회지 바다, **9**: 30-39.
- 임현식, 홍재상, 1994. 진해만 저서동물의 군집생태, 1. 저서환경. 한국수산학회지, **27**: 200-214.
- 정창수, 김석현, 강동진, 박용철, 윤철호, 홍기훈, 1999. 해저퇴적물의 광합성 색소 유도체 함량분포에 의한 마산만 부영양화 진행과정 추정. 한국해양학회지 바다, **4**: 101-106.
- 조경재, 최만영, 박승국, 임성호, 김대윤, 박종규, 김영의, 1998. 마산-진해만의 수질 부영양화 및 계절변동. 한국해양학회지 바다, **3**: 193-202.
- Béthoux, J.P., P. Morin, and D.P. Ruiz-Pino, 2002. Temporal trends in nutrient ratios: chemical evidence of Mediterranean ecosystem changes driven by human activity. *Deep-Sea Res. II*, **49**: 2007-2016.
- Choi, H.G., W.C. Lee, P.J. Kim and P.Y. Lee, 1998. Water and sediment characteristics in the shellfish farms of the western part of Jinhae Bay. *J. Fish. Sci. Tech.*, **1**: 159-167.
- Cognetti G., 2001. Marine eutrophication: The need for a new indication system. *Mar. Poll. Bull.*, **42**: 163-164.



- Dubravko, J., N.N. Rabalais, and R.E. Turner, 1995. Stoichiometric nutrient balance and origin of coastal eutrophication. *Mar. Poll. Bull.*, **30**: 41–46.
- Dell'Anno, A., M.L. Mei, A. Pusceddu and R. Danovaro, 2002. Assessing the trophic state and eutrophication of coastal marine systems: a new approach based on the biochemical composition of sediment organic matter. *Mar. Poll. Bull.*, **44**: 611–622.
- Fisher, T.R., E.R. Peele, J.W. Ammerman and L.W. Harding, 1992. Nutrient limitation of phytoplankton in Chesapeake Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **82**: 51–63.
- Froelich, P.N., G.P. Klinkhammer, M.L. Bender, N.A. Bender, G.R. Luedtke, G.R. Heath, D. Cullen, P. Dauphin, D. Hammond, B. Hartman and V. Maynard, 1979. Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic: sub-oxic diagenesis. *Geochem. Cosmochim. Acta*, **43**: 1075–1090.
- Hänninen, J., I. Vuorinen, H. Helminen, T. Kirkkala and K. Lehtila, 2000. Trend and gradients in nutrient concentrations and loading in the Archipelago Sea, Northern Baltic, in 1970–1997. *Est. Coast. Shelf Sci.*, **50**: 152–171.
- Harrison, P.J., M.H. Hu, Y.P. Yang and X. Lu, 1990. Phosphate limitation in estuarine and coastal waters of China. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **140**: 79–87.
- Herbert, R.A., 1999. Nitrogen cycling in coastal marine ecosystems. *FEMS Microbial Reviews*, **23**: 563–590.
- Hong, J.S., 1987. Summer oxygen deficiency and benthic biomass in the Chinhae Bay System, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **22**: 246–256.
- Hong, G.H., K.T. Kim, S.J. Pae, S.H. Kim and S.H. Lee, 1991. Annual cycles of nutrients and dissolved oxygen in nutrient-rich temperate coastal bay, Chinhae Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **26**: 204–222.
- Howarth, R.W., 1988. Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems. *Ann. Rev. Eco.*, **19**: 89–110.
- Justić, D., N.N. Rabalais and R. E. Turner, 1995. Stoichiometric nutrient balance and origin of coastal eutrophication. *Mar. Poll. Bull.*, **30**: 41–46.
- Kang, C.K., P.Y. Lee, J.S. Park and P.J. Kim, 1993. On the distribution of organic matter in the nearshore surface sediment of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **26**: 557–566.
- Kang, C., P. Kim, W. Lee and P. Lee, 1999. Nutrients and Phytoplankton Blooms in the Southern Coastal Waters of Korea: I. The Elemental Composition of C, N, and P in Particulate Matter in the Coastal Bay Systems. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **34**: 86–94.
- Kristiansen, K.D., E. Kristensen and M.H. Jensen, 2002. The influence of water column hypoxia on the behaviour of manganese and iron in sandy coastal marine sediment. *Est. Coast. Shelf Sci.*, **55**: 645–654.
- Laursen, A.E. and S.P. Seitzinger, 2002. The role of denitrification in nitrogen removal and carbon mineralization in Mid-Atlantic Bight sediments. *Con. Shelf Res.*, **22**: 1397–1416.
- Lee, S.H. and K.W. Lee, 1983. Heavy metals in sediments from Jinhae Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **18**: 49–54.
- Lohse L., H.T. Kloosterhuis, W. van Raaphorst, W. Helder, 1996. Denitrification rates as measured by the isotope pairing method and by the acetylene inhibition technique in continental shelf sediments of the North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **132**: 169–179.
- Nielsen, L.P. and R.N. Glud, 1996. Denitrification in a coastal sediment measured in situ by the nitrogen isotope pairing technique applied to a benthic flux chamber. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **137**: 181–186.
- Nishio, T., I. Koike and A. Hattori, 1983. Estimates of denitrification and nitrification in coastal and estuarine sediments. *Appl. Environ. Microbiol.*, **45**: 444–450.
- Nixon, S.W., 1995. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, **41**: 199–219.
- Nixon, S.W., J.W. Ammerman, L.P. Atkinson, V.M. Berounsky, G. Billen, W.C. Biocourt, W.R. Boynton, T.M. Church, D.M. Di Toro, R. Elmgren, J.H. Garber, A.E. Giblin, R.A. Jahnke, N.J.P. Owens, M.E.Q. Pilson and S.P. Seitzinger, 1996. The fate of nitrogen and phosphorus at land-sea margin of the North Atlantic Ocean. *Biogeochemistry*, **35**: 141–180.
- Nowicki, B.L., 1994. The effect of temperature, oxygen, salinity and nutrient enrichment on estuarine denitrification rates measured with a modified nitrogen gas flux technique. *Est. Coast. Shelf Sci.*, **38**: 137–156.
- Nowicki, B.L., E. Requintina, D. van Keuren and J.R. Kelly, 1997. Nitrogen losses through sediment denitrification in Boston Harbour and Massachusetts Bay. *Estuaries*, **20**: 626–639.
- Seitzinger, C.T., P. Nixon, S.W. Pilson, M.E.Q., 1984. Denitrification and nitrous oxide production in coastal marine ecosystem. *Limnol. Oceanogr.*, **29**: 73–83.
- Sekine, M., I.C. Lee, T. Narazaki, M. Ukita, T. Imai, and H. Nakanishi, 1995. Handling of dissolved oxygen in the Seto Inland sea fisheries ecological model. *Proceedings of Environmental Engineering Research*, **32**: 301–310.
- Smith V.H., G.D. Tilman and J.C. Nekola, 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, **100**: 179–196.
- Tyrell, T. and M.I. Lucas, 2002. Chemical evidence of denitrification in the Benguela upwelling system. *Est. Coast. Shelf Sci.*, **22**: 2497–2511.
- Vidal, M., C.M. Duarte and C. Sánchez, 1999. Coastal eutrophication research in Europe: progress and imbalances. *Mar. Poll. Bull.*, **38**: 851–854.
- Wasmund, N., A. Andrushaitis, E. Lysiak-Pastuszak, B. Müller-Karulis, G. Nausch, T. Neumann, H. Ojaveer, I. Olenina, L. Postel and Z. Witek, 2001. Trophic status of the South-Eastern Baltic Sea: A comparison of coastal and open areas. *Est. Coast. Shelf Sci.*, **53**: 849–864.
- Wang, G.T.F., Gong, G-C., Liu, K-K., and Pai, S-C. 1998. 'Excess Nitrate' in the East China Sea. *Est. Coast. Shelf Sci.*, **46**: 411–418.
- Yamamoto, T., 2003. The Seto Island Sea-eutrophic or oligotrophic? *Mar. Poll. Bull.*, **47**: 37–42.
- Yanagi, T., 1989. A summary of symposium of oxygen-deficient water mass. *Coastal Oceanography*, **26**: 14–145.
- Yang, D.B. and G.H. Hong, 1982. Nutrients and Chlorophyll a variations at a fixed station during the red tides in the Jinhae Bay. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **17**: 19–26.
- Yang, D.B., Kim, S.H., and Lee, K.W. 1984. Vertical distributions of chemical oceanographic parameters in Jinhae Bay in July, 1983. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **19**: 89–93.

2004년 9월 20일 원고접수

2004년 11월 14일 수정본 채택

담당편집위원: 이동섭

Appendix. Summary of the results of the National Marine Environment Monitoring Program between 1997 and 2002.

February (Surface)	Temperature (°C)			Salinity			pH			DO (mg L <sup>-1</sup> )			COD (mg L <sup>-1</sup> )			DIN (μmol L <sup>-1</sup> )			DIP (μmol L <sup>-1</sup> )		
	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range
Ulsan Bay	11.28 - 13.53	12.03	32.57 - 34.10	33.63	7.90 - 8.19	8.05	6.03 - 9.44	7.59	1.19 - 2.38	1.82	25.29 - 110.71	57.64	0.90 - 2.23	1.42							
Onsan Bay	11.90 - 13.13	12.28	32.39 - 33.97	33.59	7.84 - 8.22	8.05	6.06 - 9.19	7.77	1.53 - 2.33	1.93	22.69 - 104.25	54.48	1.05 - 2.39	1.49							
Busan	11.55 - 12.34	11.89	32.39 - 33.97	33.56	7.82 - 8.24	8.04	6.08 - 9.49	7.95	1.29 - 2.17	1.72	14.05 - 131.80	54.05	0.94 - 4.52	1.97							
Haengam Bay	6.03 - 11.62	7.72	32.34 - 34.02	33.21	7.84 - 8.22	8.05	6.96 - 10.14	8.63	1.32 - 3.15	2.30	10.14 - 126.48	49.97	0.99 - 6.23	2.89							
Masan Bay	5.32 - 6.95	6.23	31.86 - 34.48	33.27	7.93 - 8.27	8.07	7.04 - 10.00	8.74	1.23 - 3.33	2.35	16.83 - 69.96	37.12	0.72 - 3.06	1.79							
Jinhae Bay	5.38 - 7.33	6.45	32.25 - 34.58	33.44	7.91 - 8.23	8.05	7.03 - 10.37	8.65	0.72 - 2.84	1.88	6.37 - 67.84	20.64	0.48 - 2.98	1.31							
Geoje-1	11.37 - 13.18	12.32	33.54 - 34.52	34.04	7.93 - 8.25	8.09	6.09 - 9.67	7.97	0.77 - 1.82	1.27	8.98 - 53.30	19.67	0.61 - 3.87	1.28							
Geoje-2	10.05 - 11.08	10.36	33.29 - 34.47	33.91	7.99 - 8.37	8.14	7.30 - 8.79	8.06	0.60 - 1.75	1.22	1.91 - 56.39	22.59	0.35 - 5.83	1.61							
Tongyong-1	6.60 - 8.57	7.54	33.10 - 34.39	33.63	8.01 - 8.36	8.15	7.28 - 9.45	8.33	0.49 - 2.41	1.67	3.91 - 59.84	23.85	0.23 - 7.29	1.89							
Tongyong-2	9.24 - 10.18	9.82	33.15 - 34.24	33.76	7.95 - 8.30	8.14	7.27 - 8.52	7.89	0.45 - 1.75	1.16	2.32 - 65.18	25.08	0.52 - 6.64	1.90							
Jaran Bay	5.03 - 6.91	6.10	32.59 - 34.16	33.32	7.90 - 8.34	8.12	7.25 - 9.42	8.11	0.84 - 2.42	1.64	1.03 - 77.45	25.55	0.49 - 5.81	1.80							
Samcheonpo	6.20 - 8.71	7.07	32.39 - 34.16	33.37	7.74 - 8.37	8.11	6.99 - 9.44	8.06	0.40 - 2.05	1.41	1.02 - 74.70	18.42	0.45 - 3.98	1.41							
Jinju Bay	5.65 - 7.40	6.48	32.38 - 34.19	33.29	7.61 - 8.31	8.08	7.21 - 9.32	8.20	0.72 - 1.93	1.37	1.04 - 62.89	16.53	0.34 - 1.99	1.04							
Namhae Isl.	9.20 - 9.83	9.49	33.83 - 34.26	34.07	7.63 - 8.35	8.08	7.48 - 12.05	9.08	0.42 - 1.90	1.47	4.24 - 56.41	16.74	0.56 - 1.49	0.88							
Gwangyang Bay	5.12 - 7.52	6.37	32.69 - 34.26	33.43	7.61 - 8.39	8.12	6.82 - 13.79	9.55	1.67 - 2.41	2.04	1.23 - 36.63	12.90	0.40 - 3.06	1.75							
Yosu	6.56 - 7.76	7.31	33.15 - 34.08	33.55	7.77 - 8.37	8.13	6.49 - 12.11	9.47	0.90 - 2.65	1.94	2.32 - 32.73	14.53	0.79 - 2.04	1.51							
Gamak Bay	5.33 - 7.94	7.14	32.96 - 33.96	33.54	7.82 - 8.34	8.14	6.45 - 11.42	9.78	1.79 - 2.84	2.30	1.04 - 33.70	15.58	0.43 - 2.36	1.40							
Yeosu Bay	4.33 - 7.68	5.53	32.75 - 33.62	32.97	7.79 - 8.41	8.17	6.62 - 12.66	10.30	1.74 - 2.75	2.30	0.82 - 39.00	15.36	0.03 - 2.34	1.42							
Goheung	5.97 - 8.05	7.00	32.72 - 33.78	33.23	7.76 - 8.40	8.11	6.87 - 12.18	9.59	0.71 - 2.64	1.62	4.12 - 39.95	19.45	0.34 - 2.61	1.42							
Deukryang Bay	4.93 - 6.79	5.97	32.65 - 33.33	33.01	7.76 - 8.34	8.12	6.86 - 11.79	9.99	0.92 - 2.60	1.71	3.34 - 35.61	13.69	0.18 - 1.56	0.92							
Jeju	12.88 - 14.55	13.72	32.75 - 34.10	33.46	7.74 - 8.29	8.06	6.74 - 9.51	8.82	0.37 - 2.48	1.61	11.63 - 32.18	16.88	0.15 - 1.51	0.77							
Jocheon	13.55 - 14.57	13.96	32.63 - 34.35	33.53	7.68 - 8.28	8.08	6.83 - 10.14	8.79	0.59 - 2.38	1.62	9.12 - 22.00	12.56	0.23 - 1.40	0.75							
Seongsan	13.13 - 14.40	13.89	32.65 - 34.34	33.48	7.61 - 8.28	8.08	6.80 - 9.88	8.70	0.79 - 2.24	1.44	3.47 - 19.71	10.39	0.29 - 1.95	0.75							
Pyuseon	15.00 - 16.50	15.73	33.05 - 34.46	33.74	7.57 - 8.24	8.07	6.83 - 9.95	8.58	0.41 - 1.95	1.20	3.82 - 21.30	10.01	0.16 - 1.98	0.71							
Seoguipo	14.82 - 15.84	15.40	33.48 - 34.24	33.88	7.58 - 8.24	8.08	6.92 - 10.30	8.62	0.35 - 2.17	1.30	3.48 - 29.41	12.64	0.26 - 1.96	0.75							
Daejeung	14.60 - 15.40	14.88	33.86 - 34.52	34.19	7.67 - 8.26	8.10	6.88 - 10.71	8.68	0.44 - 1.75	1.17	3.99 - 32.54	11.60	0.20 - 2.13	0.76							
Hanlim	13.07 - 14.57	13.84	33.96 - 34.62	34.30	7.78 - 8.24	8.11	6.95 - 10.08	8.54	0.26 - 1.66	1.17	3.98 - 39.04	14.07	0.23 - 1.28	0.64							
Wando	7.58 - 10.12	8.80	33.45 - 34.29	33.91	7.68 - 8.21	8.00	7.59 - 10.42	8.97	0.40 - 2.12	1.13	3.81 - 33.18	13.55	0.39 - 1.15	0.72							
Doam Bay	5.20 - 9.10	7.54	33.47 - 34.12	33.87	7.72 - 8.26	8.07	7.91 - 10.89	9.11	0.36 - 1.92	1.08	4.53 - 23.51	9.70	0.29 - 0.93	0.56							
Jindo	6.10 - 7.78	7.20	32.99 - 34.05	33.64	7.63 - 8.29	8.05	7.94 - 10.42	9.26	0.33 - 1.32	0.89	4.88 - 19.31	12.21	0.40 - 0.75	0.58							
Haenam	5.00 - 7.50	5.90	26.71 - 34.00	31.97	7.86 - 8.34	8.13	7.62 - 11.86	9.80	0.37 - 1.63	1.05	5.35 - 37.77	15.06	0.10 - 1.03	0.47							
Mockpo	4.55 - 6.62	5.61	30.36 - 34.01	32.43	7.92 - 8.27	8.13	7.58 - 11.26	9.64	0.92 - 1.21	1.09	5.61 - 53.24	16.14	0.09 - 0.67	0.38							
Shinan	5.35 - 7.10	6.48	32.33 - 33.98	33.28	7.75 - 8.25	8.06	7.74 - 10.91	9.42	0.66 - 1.23	0.97	5.37 - 25.50	12.25	0.20 - 0.84	0.49							
Moan	3.43 - 6.20	4.91	31.73 - 33.80	32.89	7.71 - 8.22	8.08	7.78 - 10.90	9.57	0.64 - 1.29	1.12	7.30 - 24.09	11.80	0.20 - 0.64	0.45							
Hampyeong Bay	3.10 - 4.85	3.83	31.36 - 33.59	32.55	7.68 - 8.22	8.04	7.82 - 10.65	9.57	0.53 - 1.31	1.10	6.17 - 22.93	12.10	0.22 - 0.65	0.41							

Appendix. Continued

February (Bottom)	Temperature (°C)			Salinity			pH			DO (mg L <sup>-1</sup> )			COD (mg L <sup>-1</sup> )			DIN (μmol L <sup>-1</sup> )			DIP (μmol L <sup>-1</sup> )		
	Range	Mean	Range	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
Ulsan Bay	11.15 - 12.54	11.74	33.90 - 34.24	34.06	7.93 - 8.23	8.08	6.02 - 10.09	7.61	1.16 - 1.59	1.44	18.52 - 90.04	40.58	0.44 - 1.84	1.08							
Onsan Bay	10.78 - 12.45	11.67	33.78 - 34.16	34.00	7.91 - 8.28	8.08	6.03 - 9.54	7.80	0.65 - 2.22	1.42	17.46 - 91.93	39.18	0.45 - 2.83	1.31							
Busan	10.80 - 11.95	11.46	33.70 - 34.19	34.01	7.89 - 8.33	8.08	6.09 - 9.50	7.98	1.03 - 2.00	1.55	13.58 - 101.07	39.41	0.96 - 4.07	1.67							
Haengam Bay	6.20 - 11.98	9.13	33.08 - 34.15	33.56	7.87 - 8.36	8.07	6.95 - 9.81	8.53	1.25 - 5.38	2.60	8.79 - 96.68	37.48	1.07 - 8.06	3.94							
Masan Bay	5.30 - 12.22	8.96	32.42 - 34.39	33.43	7.88 - 8.40	8.08	7.09 - 10.22	8.62	0.96 - 3.15	2.02	12.66 - 64.59	27.58	0.69 - 8.06	2.83							
Jinhae Bay	5.63 - 12.43	9.34	32.65 - 34.51	33.60	7.93 - 8.40	8.09	7.07 - 10.26	8.63	0.98 - 2.89	2.01	6.79 - 60.52	19.59	0.42 - 7.26	1.86							
Geoje-1	11.27 - 12.48	11.95	33.98 - 34.45	34.18	7.97 - 8.37	8.12	6.13 - 9.77	8.12	1.00 - 1.99	1.44	6.57 - 51.80	20.53	0.47 - 7.98	1.95							
Geoje-2	9.88 - 12.53	11.13	33.59 - 34.43	34.03	8.02 - 8.38	8.19	7.36 - 8.45	8.06	0.61 - 1.71	1.21	1.96 - 56.41	18.84	0.39 - 4.82	1.41							
Tongyong-1	6.58 - 12.80	9.84	33.16 - 34.34	33.80	8.06 - 8.39	8.19	7.36 - 9.41	8.40	0.64 - 1.91	1.56	3.97 - 53.75	18.45	0.25 - 5.49	1.55							
Tongyong-2	9.47 - 12.38	10.86	33.48 - 34.16	33.84	7.98 - 8.36	8.17	7.38 - 8.52	7.94	1.05 - 1.73	1.37	2.17 - 54.71	18.89	0.63 - 5.31	1.56							
Jaran Bay	5.13 - 11.88	9.02	32.64 - 34.18	33.42	7.92 - 8.40	8.18	7.32 - 9.72	8.22	0.66 - 1.68	1.33	1.15 - 52.04	17.59	0.50 - 3.96	1.31							
Samcheonpo	6.17 - 11.73	8.96	32.62 - 34.21	33.36	7.81 - 8.43	8.16	7.00 - 9.84	8.21	0.52 - 1.80	1.27	1.68 - 48.50	13.96	0.54 - 3.20	1.21							
Jinju Bay	5.15 - 11.93	8.50	32.41 - 34.22	33.27	7.64 - 8.47	8.14	7.25 - 9.45	8.20	1.22 - 2.26	1.57	1.04 - 41.27	12.10	0.72 - 1.93	1.08							
Namhae Isl.	8.94 - 12.23	10.17	33.89 - 34.28	34.10	7.62 - 8.49	8.12	7.46 - 12.51	9.20	0.56 - 1.79	1.36	4.39 - 43.64	14.25	0.54 - 1.93	0.89							
Gwangyang Bay	5.44 - 11.25	8.47	33.21 - 34.38	33.63	7.56 - 8.46	8.15	6.87 - 13.61	9.72	1.41 - 2.49	2.01	0.95 - 40.11	12.53	0.52 - 2.02	1.52							
Yosu	6.69 - 10.08	8.27	33.41 - 34.22	33.71	7.58 - 8.35	8.12	6.46 - 12.14	9.49	1.03 - 2.36	1.81	3.10 - 38.93	12.74	0.76 - 2.90	1.40							
Gamak Bay	6.55 - 8.75	7.44	33.16 - 33.95	33.60	7.62 - 8.30	8.14	6.50 - 11.50	9.63	1.53 - 2.45	1.93	0.96 - 38.64	13.75	0.50 - 3.15	1.42							
Yeoja Bay	5.10 - 7.70	6.04	32.89 - 33.70	33.12	7.65 - 8.35	8.15	6.70 - 12.31	9.99	1.61 - 2.65	2.12	0.79 - 28.91	11.20	0.08 - 2.98	1.40							
Goheung	5.55 - 7.55	6.44	32.95 - 33.78	33.34	7.64 - 8.29	8.09	6.91 - 11.35	9.49	0.76 - 2.96	1.66	4.82 - 28.05	14.58	0.33 - 2.44	1.42							
Deukryang Bay	4.94 - 7.50	6.01	32.91 - 33.37	33.17	7.68 - 8.31	8.14	6.78 - 11.98	9.76	0.50 - 2.90	1.68	3.64 - 21.29	11.27	0.20 - 1.58	0.98							
Jeju	5.37 - 14.10	9.96	32.93 - 34.38	33.66	7.70 - 8.29	8.08	6.40 - 9.43	8.60	0.31 - 2.86	1.64	9.22 - 18.18	13.19	0.14 - 1.27	0.83							
Jocheon	5.08 - 13.90	9.74	32.75 - 34.36	33.65	7.61 - 8.29	8.08	6.28 - 9.46	8.46	0.55 - 2.78	1.54	7.19 - 20.73	11.25	0.29 - 1.77	0.81							
Seongsan	4.98 - 14.37	9.68	32.68 - 34.31	33.56	7.49 - 8.29	8.07	6.18 - 9.37	8.44	0.54 - 2.53	1.54	3.22 - 19.46	10.16	0.14 - 1.90	0.75							
Pyuscon	6.70 - 15.80	11.27	33.06 - 34.55	33.88	7.44 - 8.34	8.08	6.31 - 8.98	8.31	0.24 - 3.03	1.63	3.06 - 20.61	9.79	0.16 - 2.02	0.72							
Seoguipo	8.30 - 15.75	12.20	33.47 - 34.32	33.97	7.45 - 8.35	8.08	6.56 - 9.27	8.31	0.75 - 2.48	1.43	2.60 - 21.96	11.65	0.19 - 2.11	0.78							
Daejung	10.03 - 14.90	12.69	33.83 - 34.51	34.23	7.57 - 8.30	8.09	6.70 - 9.27	8.20	0.70 - 2.39	1.27	3.01 - 19.20	10.85	0.09 - 1.65	0.69							
Hanlim	11.95 - 14.03	13.06	34.20 - 34.62	34.36	7.77 - 8.25	8.11	6.79 - 9.51	8.15	0.50 - 2.32	1.35	3.50 - 24.29	13.46	0.23 - 1.37	0.69							
Wando	7.36 - 11.62	9.71	33.42 - 34.25	33.87	7.70 - 8.24	8.01	7.54 - 10.55	8.76	0.47 - 1.94	1.05	3.79 - 19.98	12.05	0.41 - 1.28	0.67							
Doam Bay	6.95 - 10.95	9.35	33.47 - 34.08	33.89	7.75 - 8.25	8.08	8.15 - 10.30	9.05	0.53 - 1.64	1.07	3.72 - 16.27	8.91	0.28 - 0.94	0.53							
Jindo	6.15 - 11.15	8.64	33.01 - 34.00	33.65	7.65 - 8.30	8.06	8.23 - 10.59	9.24	0.40 - 1.26	0.89	4.90 - 17.59	11.34	0.40 - 0.81	0.58							
Haenam	4.90 - 11.33	7.99	31.67 - 33.94	32.97	7.90 - 8.35	8.14	7.88 - 10.54	9.41	0.31 - 1.15	0.83	5.61 - 31.17	12.49	0.09 - 1.02	0.49							
Mockpo	4.58 - 11.23	7.99	31.43 - 33.99	32.78	8.10 - 8.30	8.17	7.86 - 11.25	9.60	0.71 - 1.37	1.06	4.63 - 43.25	13.90	0.17 - 0.77	0.40							
Shinan	5.10 - 10.63	8.11	32.38 - 33.96	33.29	7.78 - 8.28	8.08	7.83 - 10.69	9.37	0.69 - 1.31	0.95	5.04 - 22.15	11.41	0.32 - 0.75	0.53							
Mooan	3.50 - 9.39	6.84	31.70 - 33.75	32.89	7.74 - 8.28	8.10	7.81 - 10.43	9.42	0.74 - 1.33	1.00	5.18 - 17.65	9.78	0.18 - 0.67	0.44							
Hampyeong Bay	3.15 - 8.58	5.84	31.58 - 33.56	32.59	7.73 - 8.28	8.07	7.95 - 10.96	9.81	0.94 - 1.29	1.09	5.60 - 35.12	13.30	0.23 - 0.60	0.42							

## Appendix. Continued

May (Surface)	Temperature (°C)			Salinity			pH			DO (mg L <sup>-1</sup> )			COD (mg L <sup>-1</sup> )			DIN (μmol L <sup>-1</sup> )			DIP (μmol L <sup>-1</sup> )		
	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	
Ulsan Bay	13.76 - 16.93	15.75	30.30 - 33.75	32.62	7.83 - 8.19	8.06	7.77 - 9.93	8.51	1.32 - 2.80	1.91	16.76 - 107.61	52.50	0.13 - 1.45	0.73							
Onsan Bay	13.26 - 16.27	15.39	29.60 - 34.06	32.79	7.79 - 8.57	8.16	7.36 - 10.35	8.75	1.62 - 3.05	2.31	8.19 - 243.40	60.98	0.15 - 1.66	0.72							
Busan	13.83 - 16.13	15.32	31.46 - 33.79	32.89	7.88 - 8.21	8.09	7.90 - 8.49	8.27	1.43 - 2.00	1.74	5.84 - 35.19	20.45	0.26 - 2.35	0.82							
Haengam Bay	15.46 - 18.25	16.83	30.42 - 33.28	32.22	7.82 - 8.43	8.16	5.05 - 13.99	8.58	1.62 - 5.18	2.94	2.93 - 37.13	15.93	0.29 - 13.70	4.40							
Masan Bay	15.97 - 18.66	17.30	26.56 - 32.77	29.74	7.57 - 8.98	8.20	5.30 - 10.75	8.09	2.51 - 5.31	3.71	22.08 - 101.00	42.72	2.03 - 5.49	2.77							
Jinhae Bay	16.07 - 17.60	16.95	29.62 - 33.32	31.46	7.89 - 8.42	8.15	5.56 - 9.88	8.18	1.63 - 3.43	2.29	6.04 - 20.82	13.76	0.20 - 3.40	0.90							
Geoje-1	14.32 - 16.93	15.90	30.98 - 34.15	32.82	8.00 - 8.36	8.16	6.60 - 10.24	8.47	0.70 - 1.70	1.21	5.61 - 19.54	11.56	0.15 - 1.42	0.52							
Geoje-2	14.23 - 17.48	15.43	32.36 - 34.02	33.07	7.79 - 8.23	8.06	7.26 - 8.73	8.02	0.46 - 1.55	1.02	3.44 - 9.55	5.67	0.28 - 0.81	0.57							
Tongyong-1	15.16 - 17.56	16.22	28.90 - 34.08	32.38	7.76 - 8.31	8.06	6.93 - 9.22	8.05	0.82 - 2.07	1.61	3.26 - 36.53	13.96	0.12 - 0.97	0.70							
Tongyong-2	13.73 - 17.46	15.22	32.06 - 33.90	33.03	7.82 - 8.29	8.10	7.63 - 9.02	8.22	0.57 - 1.62	1.00	1.23 - 5.23	3.65	0.17 - 0.90	0.55							
Jaran Bay	14.98 - 18.70	16.56	31.90 - 34.06	32.74	7.86 - 8.19	8.08	6.10 - 8.27	7.50	0.77 - 1.66	1.23	1.60 - 13.52	5.84	0.10 - 0.83	0.46							
Samcheonpo	14.83 - 18.17	16.41	31.92 - 33.83	32.72	7.82 - 8.14	8.04	6.33 - 8.15	7.50	0.60 - 1.92	1.35	1.96 - 10.52	7.11	0.43 - 0.89	0.69							
Jinju Bay	15.50 - 19.70	17.06	28.64 - 33.83	31.76	7.76 - 8.17	8.05	6.10 - 9.70	7.55	1.16 - 2.06	1.75	1.32 - 32.71	11.24	0.65 - 0.84	0.75							
Namhae Isl.	14.86 - 17.09	16.00	32.14 - 34.03	33.36	7.97 - 8.22	8.12	7.50 - 9.56	8.73	0.59 - 1.72	1.14	1.87 - 7.29	3.24	0.23 - 0.54	0.37							
Gwangyang Bay	16.45 - 20.06	17.87	28.17 - 33.62	31.67	7.88 - 8.33	8.14	8.37 - 11.66	9.51	1.42 - 3.39	2.12	2.34 - 23.22	8.24	0.78 - 2.96	1.52							
Yosu	15.96 - 17.81	16.66	30.06 - 33.85	32.61	7.93 - 8.28	8.12	8.28 - 9.83	8.99	0.94 - 2.80	1.44	0.97 - 17.75	6.03	0.60 - 2.42	1.25							
Gamak Bay	16.15 - 18.73	17.71	30.91 - 33.64	32.88	7.92 - 8.21	8.10	7.51 - 9.51	8.95	1.04 - 2.69	1.67	1.01 - 7.72	3.62	0.27 - 1.74	0.64							
Yeoja Bay	17.16 - 20.44	18.46	29.74 - 34.09	32.33	7.90 - 8.26	8.10	7.32 - 10.50	8.95	0.48 - 1.94	1.42	1.40 - 5.41	3.31	0.13 - 1.27	0.73							
Goheung	15.46 - 18.25	16.79	29.50 - 33.68	32.47	7.98 - 8.16	8.09	8.89 - 9.82	9.32	0.83 - 1.58	1.17	1.19 - 7.91	4.08	0.16 - 1.58	0.73							
Deukryang Bay	16.22 - 19.53	17.97	25.15 - 33.71	31.64	7.93 - 8.21	8.07	7.17 - 10.14	8.89	1.03 - 1.69	1.30	1.29 - 10.39	3.70	0.11 - 2.05	0.62							
Jeju	14.20 - 17.83	16.55	33.42 - 34.04	33.75	8.03 - 8.25	8.17	8.06 - 9.54	8.59	0.06 - 1.34	0.76	2.17 - 19.40	11.22	0.18 - 1.27	0.50							
Jocheon	13.87 - 17.10	15.96	33.59 - 34.39	33.94	7.97 - 8.24	8.17	7.71 - 8.72	8.26	0.13 - 1.13	0.61	1.38 - 6.46	2.82	0.01 - 0.60	0.29							
Seongsan	14.40 - 17.63	16.35	33.36 - 34.25	33.77	7.99 - 8.24	8.16	7.80 - 8.48	8.16	0.11 - 1.13	0.77	1.35 - 13.66	6.17	0.12 - 0.51	0.30							
Pyuseon	14.90 - 18.80	17.22	33.59 - 34.67	34.02	8.07 - 8.25	8.19	7.56 - 8.36	8.04	0.05 - 1.27	0.72	0.71 - 5.07	2.21	0.01 - 1.55	0.45							
Seoguipo	14.53 - 18.42	16.70	33.01 - 33.94	33.64	8.05 - 8.26	8.20	7.80 - 8.55	8.13	0.08 - 1.43	0.89	1.48 - 16.64	8.91	0.14 - 0.58	0.31							
Daejung	14.10 - 18.68	16.56	33.58 - 34.51	33.94	8.04 - 8.25	8.18	7.74 - 8.26	8.02	0.10 - 1.06	0.61	1.10 - 8.39	3.81	0.05 - 0.91	0.38							
Hanlim	14.38 - 18.70	16.79	33.50 - 34.39	33.95	8.04 - 8.25	8.17	7.58 - 8.76	8.13	0.16 - 1.09	0.66	2.05 - 15.30	6.04	0.08 - 0.55	0.32							
Wando	13.10 - 16.08	14.84	32.71 - 33.89	33.39	8.02 - 8.21	8.11	7.88 - 8.61	8.16	0.66 - 1.19	0.88	1.17 - 11.45	5.22	0.12 - 0.68	0.47							
Doam Bay	14.05 - 17.65	15.77	32.54 - 33.70	33.23	8.04 - 8.20	8.12	7.84 - 8.58	8.16	0.61 - 1.35	0.98	0.82 - 8.19	4.66	0.11 - 0.65	0.43							
Jindo	12.73 - 15.73	14.50	32.75 - 33.73	33.27	8.04 - 8.22	8.11	7.81 - 8.75	8.31	0.85 - 1.39	0.99	1.52 - 11.49	5.49	0.24 - 0.58	0.43							
Haenam	14.80 - 16.20	15.26	31.14 - 33.11	32.15	8.01 - 8.56	8.24	7.17 - 8.54	8.03	0.79 - 1.82	1.22	4.54 - 17.12	7.67	0.16 - 0.78	0.36							
Mockpo	14.35 - 17.17	15.38	29.48 - 32.58	31.56	8.00 - 8.27	8.11	7.88 - 8.61	8.25	0.97 - 1.91	1.48	3.07 - 9.74	6.89	0.21 - 0.63	0.33							
Shinan	13.40 - 15.45	14.35	32.07 - 33.42	32.80	8.01 - 8.27	8.08	7.41 - 9.07	8.24	1.01 - 1.62	1.27	3.89 - 12.13	7.61	0.18 - 0.74	0.48							
Mooan	15.03 - 17.13	15.97	31.40 - 32.78	32.17	7.96 - 8.26	8.07	7.43 - 8.44	8.06	0.39 - 1.58	1.04	4.17 - 12.20	6.45	0.26 - 0.66	0.42							
Hampyeong Bay	15.40 - 19.55	16.55	31.33 - 32.82	31.91	7.90 - 8.09	8.03	7.41 - 8.43	7.85	0.56 - 1.85	1.24	2.89 - 13.53	7.35	0.16 - 0.77	0.43							

Appendix. Continued

May (Bottom)	Temperature (°C)		Salinity		pH		DO (mg L <sup>-1</sup> )		COD (mg L <sup>-1</sup> )		DIN (μmol L <sup>-1</sup> )		DIP (μmol L <sup>-1</sup> )	
	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
Ulsan Bay	11.99 - 15.10	13.77	32.18 - 34.31	33.60	7.85 - 8.16	8.06	7.70 - 8.88	8.22	1.12 - 1.76	1.46	6.94 - 50.23	25.09	0.14 - 2.09	0.63
Onsan Bay	10.88 - 15.47	13.65	32.43 - 34.45	33.72	7.88 - 8.24	8.09	7.63 - 9.25	8.25	1.32 - 2.44	1.77	6.52 - 45.45	20.41	0.17 - 2.31	0.65
Busan	12.92 - 15.63	14.47	32.87 - 34.09	33.68	8.05 - 8.22	8.13	8.01 - 8.41	8.23	1.43 - 1.96	1.58	7.36 - 35.51	14.74	0.21 - 2.48	0.71
Haengam Bay	14.64 - 17.37	16.05	30.47 - 33.68	32.46	7.77 - 8.45	8.13	4.07 - 11.28	7.95	1.95 - 3.12	2.51	7.73 - 34.50	20.72	0.32 - 6.67	3.56
Masan Bay	14.41 - 16.90	15.42	30.56 - 33.13	31.93	7.75 - 8.56	8.11	2.11 - 8.86	5.70	2.08 - 3.34	2.78	17.64 - 69.17	34.96	0.71 - 7.15	2.46
Jinhae Bay	13.99 - 16.87	15.25	31.27 - 33.39	32.33	7.90 - 8.23	8.07	4.58 - 9.09	7.27	1.35 - 2.37	1.82	6.36 - 20.14	11.74	0.31 - 3.38	0.97
Geoje-1	13.33 - 16.00	14.85	32.94 - 34.08	33.58	8.00 - 8.48	8.21	6.03 - 10.00	8.24	0.60 - 1.86	1.29	4.71 - 24.87	11.86	0.25 - 1.92	0.61
Geoje-2	13.75 - 16.43	14.76	33.35 - 33.99	33.55	7.83 - 8.23	8.05	6.65 - 8.70	7.71	0.55 - 2.02	1.12	2.95 - 7.89	4.53	0.28 - 0.73	0.54
Tongyeong-1	14.67 - 16.92	15.62	32.60 - 34.09	33.27	7.82 - 8.32	8.08	6.78 - 9.72	7.90	0.57 - 1.86	1.26	1.85 - 15.47	7.91	0.33 - 0.86	0.58
Tongyeong-2	13.02 - 16.38	14.46	32.99 - 33.90	33.41	7.85 - 8.29	8.10	7.42 - 9.32	8.09	0.61 - 1.71	1.15	2.04 - 7.74	3.36	0.22 - 0.90	0.52
Jaran Bay	14.59 - 17.90	15.80	32.43 - 34.03	33.05	7.83 - 8.17	8.07	6.15 - 8.72	7.41	0.41 - 1.52	1.12	1.48 - 8.52	4.79	0.21 - 0.63	0.42
Samcheonpo	14.00 - 16.53	15.06	32.17 - 33.83	32.99	7.83 - 8.19	8.07	6.26 - 8.53	7.49	0.90 - 1.60	1.35	1.63 - 6.07	4.95	0.48 - 0.80	0.57
Jinju Bay	14.70 - 18.50	16.30	31.38 - 33.79	32.47	7.85 - 8.23	8.07	6.16 - 8.66	7.48	0.75 - 2.52	1.54	2.07 - 11.57	6.83	0.45 - 0.79	0.63
Namhae Isl.	13.65 - 16.70	14.93	32.70 - 34.15	33.62	7.97 - 8.16	8.08	6.90 - 9.72	8.36	0.75 - 1.59	1.20	1.00 - 5.36	3.32	0.21 - 0.67	0.44
Gwangyang Bay	15.89 - 17.92	16.87	28.81 - 33.73	32.18	7.92 - 8.24	8.12	7.44 - 9.64	8.78	1.34 - 2.85	1.98	2.48 - 19.60	7.74	0.81 - 2.59	1.51
Yosu	15.11 - 16.78	15.74	30.25 - 34.03	32.96	7.95 - 8.14	8.08	7.49 - 9.31	8.51	1.06 - 1.55	1.28	0.93 - 16.79	6.58	0.48 - 2.48	1.22
Gamak Bay	16.10 - 17.63	16.91	31.16 - 33.95	33.11	7.92 - 8.29	8.11	7.29 - 9.93	8.66	0.63 - 2.65	1.58	2.54 - 10.62	4.87	0.24 - 1.20	0.59
Yeoja Bay	14.77 - 19.04	17.19	31.14 - 34.11	32.57	8.01 - 8.25	8.11	7.16 - 10.45	8.62	0.68 - 2.87	1.70	1.19 - 6.14	3.43	0.09 - 1.81	0.70
Goheung	14.98 - 17.06	16.01	31.21 - 33.67	32.96	7.95 - 8.13	8.06	8.56 - 9.62	9.10	1.02 - 2.08	1.44	1.14 - 10.53	5.22	0.19 - 1.77	0.79
Deukryang Bay	15.73 - 17.77	16.85	28.73 - 33.70	32.33	7.93 - 8.14	8.08	6.82 - 9.97	8.44	0.73 - 2.45	1.37	0.95 - 10.19	4.07	0.10 - 2.33	0.64
Jeju	13.88 - 17.83	16.25	33.52 - 34.24	33.88	8.10 - 8.25	8.18	7.96 - 9.31	8.48	0.09 - 1.22	0.76	1.56 - 5.61	5.58	0.06 - 0.77	0.35
Jocheon	13.70 - 17.20	15.90	33.66 - 34.43	34.10	8.07 - 8.27	8.18	7.73 - 9.03	8.19	0.10 - 1.11	0.65	2.69 - 11.67	3.27	0.06 - 0.57	0.28
Seongsan	14.20 - 17.65	16.22	33.45 - 34.24	33.92	8.11 - 8.27	8.18	7.75 - 8.53	8.13	0.07 - 1.34	0.77	2.49 - 13.01	5.80	0.12 - 0.62	0.37
Pyuseon	13.80 - 17.50	15.14	33.81 - 34.42	34.16	8.08 - 8.23	8.15	7.14 - 7.88	7.53	0.05 - 0.92	0.55	4.44 - 16.17	7.24	0.25 - 1.35	0.55
Seoguipo	14.33 - 17.98	15.97	33.53 - 34.19	33.88	8.07 - 8.26	8.17	7.59 - 8.34	7.93	0.03 - 1.21	0.86	3.24 - 17.36	8.25	0.18 - 0.64	0.37
Daejung	13.90 - 17.40	16.02	32.88 - 34.63	33.91	8.00 - 8.29	8.16	7.73 - 8.15	7.91	0.08 - 0.93	0.66	2.54 - 15.77	5.49	0.12 - 0.51	0.30
Hanlim	14.00 - 18.33	16.25	33.66 - 34.44	33.97	7.99 - 8.24	8.15	7.43 - 8.37	8.02	0.15 - 1.46	0.81	2.56 - 15.28	6.19	0.11 - 0.50	0.37
Wando	12.84 - 15.42	14.41	32.75 - 34.02	33.51	8.02 - 8.21	8.12	7.69 - 8.55	8.06	0.48 - 1.12	0.74	1.17 - 10.33	5.05	0.11 - 0.65	0.44
Doam Bay	13.95 - 16.65	15.27	32.63 - 33.72	33.34	8.02 - 8.20	8.11	7.48 - 8.69	8.08	0.66 - 1.17	0.85	0.96 - 8.18	3.67	0.15 - 0.76	0.43
Jindo	12.55 - 15.20	14.23	32.75 - 33.75	33.29	8.05 - 8.20	8.11	7.70 - 8.63	8.11	0.39 - 1.13	0.81	1.79 - 11.02	5.14	0.17 - 0.69	0.47
Haenam	13.40 - 15.00	14.42	31.86 - 33.28	32.47	8.00 - 8.62	8.23	6.99 - 8.47	7.97	0.87 - 1.78	1.27	3.14 - 10.73	5.73	0.09 - 0.56	0.28
Mockpo	13.80 - 15.48	14.81	31.01 - 32.96	31.99	8.01 - 8.25	8.10	7.66 - 8.31	7.92	1.03 - 1.67	1.30	4.67 - 10.85	6.49	0.24 - 0.77	0.38
Shinan	12.65 - 15.05	13.88	32.27 - 33.43	32.90	8.00 - 8.20	8.07	7.52 - 8.56	8.15	0.53 - 1.86	1.00	3.00 - 11.49	6.33	0.21 - 0.76	0.50
Mooan	14.83 - 16.53	15.68	31.47 - 32.81	32.31	7.97 - 8.23	8.06	7.51 - 8.22	7.83	0.55 - 1.40	1.03	2.51 - 11.34	5.83	0.16 - 0.66	0.37
Hampyeong Bay	13.75 - 18.50	15.85	31.10 - 32.83	31.95	7.92 - 8.20	8.03	7.19 - 8.12	7.74	0.48 - 1.72	1.18	2.66 - 9.67	6.03	0.14 - 0.74	0.48

## Appendix. Continued

August (Surface)	Temperature (°C)			Salinity			pH			DO (mg L <sup>-1</sup> )			COD (mg L <sup>-1</sup> )			DIN (μmol L <sup>-1</sup> )			DIP (μmol L <sup>-1</sup> )		
	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	
Ulsan Bay	19.03 - 25.38	22.72	23.02 - 31.72	28.66	7.78 - 8.41	8.13	4.76 - 8.92	7.23	1.43 - 2.71	2.11	16.04 - 79.84	43.95	0.38 - 2.77	1.72							
Onsan Bay	18.47 - 25.55	22.38	24.41 - 32.06	30.27	7.84 - 8.42	8.18	5.80 - 11.07	8.22	1.08 - 3.60	2.37	8.90 - 86.02	37.37	0.72 - 2.25	1.67							
Busan	20.22 - 25.96	23.28	25.56 - 31.57	29.41	7.94 - 8.48	8.20	5.36 - 9.37	7.16	1.43 - 2.33	1.95	16.51 - 44.36	34.76	0.96 - 1.96	1.49							
Haengam Bay	24.55 - 30.00	26.50	22.69 - 31.09	27.52	7.72 - 8.75	8.35	5.34 - 12.74	8.73	2.07 - 4.51	3.24	14.36 - 100.71	55.29	2.78 - 6.55	4.55							
Masan Bay	24.29 - 27.90	26.05	17.46 - 27.46	22.99	7.87 - 8.72	8.32	5.71 - 14.48	8.08	2.20 - 5.61	3.80	39.76 - 124.33	74.62	1.97 - 6.45	4.70							
Jinhae Bay	23.61 - 27.45	25.81	19.14 - 30.63	25.59	7.93 - 8.69	8.36	6.34 - 11.20	7.68	2.03 - 4.00	2.71	17.73 - 42.83	29.46	0.88 - 2.67	1.76							
Geoje-1	22.40 - 26.22	24.24	25.37 - 31.95	29.18	8.04 - 8.56	8.31	7.05 - 11.75	8.78	1.22 - 2.67	1.77	6.63 - 33.41	19.68	0.40 - 1.83	0.91							
Geoje-2	21.93 - 26.43	24.00	27.00 - 32.66	30.99	7.90 - 8.18	8.07	6.16 - 7.89	6.97	0.50 - 2.76	1.37	2.22 - 10.90	6.95	0.20 - 0.63	0.39							
Tongyong-1	22.68 - 26.45	24.77	27.17 - 32.71	30.38	7.91 - 8.13	8.03	4.90 - 7.94	6.69	1.25 - 2.85	1.83	1.80 - 18.89	9.44	0.36 - 0.87	0.59							
Tongyong-2	22.63 - 26.60	24.54	28.66 - 32.71	31.18	7.90 - 8.18	8.08	5.72 - 8.47	7.07	0.37 - 1.75	1.19	1.35 - 8.80	4.61	0.24 - 0.60	0.43							
Jaran Bay	24.17 - 28.05	26.14	21.97 - 32.20	29.39	7.85 - 8.12	8.02	4.78 - 7.93	6.49	0.45 - 2.17	1.27	1.09 - 27.95	10.08	0.19 - 0.76	0.46							
Samcheongpo	22.47 - 26.81	24.72	25.13 - 31.43	29.01	7.94 - 8.16	8.01	5.23 - 7.73	6.69	0.23 - 3.17	1.60	3.26 - 25.40	11.81	0.09 - 1.14	0.64							
Jinju Bay	23.28 - 28.11	26.03	8.88 - 31.01	23.61	7.52 - 8.17	7.89	6.11 - 8.79	7.51	1.42 - 3.76	2.09	2.98 - 76.46	23.04	0.48 - 1.91	1.14							
Namhae Isl.	22.14 - 27.20	25.26	28.00 - 31.49	30.37	8.07 - 8.39	8.19	5.16 - 8.60	6.85	1.03 - 2.87	1.80	1.58 - 8.51	4.46	0.06 - 1.19	0.72							
Gwangyang Bay	24.82 - 27.99	26.44	19.74 - 30.27	25.93	7.97 - 8.59	8.21	6.07 - 10.48	8.23	1.72 - 3.80	2.64	1.99 - 27.18	14.78	0.25 - 2.91	1.62							
Yosu	22.93 - 27.62	25.43	23.68 - 30.81	27.28	8.02 - 8.79	8.24	6.97 - 8.66	7.88	1.68 - 3.53	2.28	2.92 - 28.88	11.20	0.10 - 1.81	1.18							
Gamak Bay	22.88 - 27.23	25.17	28.83 - 31.56	29.93	7.91 - 8.38	8.15	5.35 - 8.58	7.21	0.37 - 2.91	1.64	3.44 - 16.27	9.45	0.07 - 1.51	0.81							
Yeolja Bay	23.99 - 28.70	26.35	23.85 - 31.23	27.09	7.85 - 8.33	8.07	6.54 - 8.59	7.38	1.54 - 3.45	2.54	4.61 - 36.97	15.21	0.05 - 1.70	0.78							
Goheung	22.78 - 27.10	24.97	30.15 - 32.36	31.24	7.89 - 8.23	8.07	5.79 - 8.05	7.34	1.83 - 2.39	2.04	2.10 - 10.78	5.32	0.08 - 1.22	0.58							
Deukryang Bay	24.92 - 28.60	26.26	27.17 - 32.21	30.06	7.97 - 8.27	8.13	6.36 - 12.11	8.34	1.58 - 2.78	2.09	2.14 - 11.06	4.99	0.02 - 1.37	0.54							
Jeju	21.68 - 29.47	24.88	29.48 - 32.43	31.21	8.05 - 8.22	8.15	5.21 - 7.32	6.49	1.03 - 1.48	1.29	2.09 - 24.52	13.72	0.11 - 1.24	0.55							
Jocheon	20.80 - 28.98	24.24	29.83 - 33.09	31.94	8.12 - 8.25	8.18	5.00 - 7.79	6.58	0.53 - 1.17	0.76	1.17 - 5.21	2.85	0.08 - 0.35	0.24							
Seongsan	22.03 - 28.21	25.04	29.77 - 32.56	31.29	8.09 - 8.26	8.18	5.42 - 7.94	6.71	0.85 - 1.45	1.17	1.86 - 16.24	6.48	0.05 - 0.51	0.29							
Pyuseon	23.00 - 28.50	25.97	30.47 - 32.88	31.48	8.08 - 8.26	8.19	5.79 - 8.50	6.77	0.27 - 1.15	0.74	1.67 - 4.92	2.81	0.02 - 0.56	0.24							
Seoguipo	22.62 - 28.66	25.55	29.65 - 31.71	31.02	8.08 - 8.26	8.17	5.80 - 8.02	6.93	0.79 - 1.18	0.98	3.63 - 26.97	14.48	0.09 - 0.68	0.42							
Daejeung	22.17 - 28.85	25.54	29.79 - 32.67	31.53	8.13 - 8.22	8.17	5.60 - 7.89	6.84	0.38 - 0.75	0.60	1.24 - 8.88	3.81	0.11 - 0.60	0.31							
Hanlim	21.73 - 29.46	25.69	29.68 - 32.74	31.23	8.12 - 8.23	8.17	5.17 - 7.36	6.72	0.78 - 1.51	0.99	3.27 - 15.73	6.88	0.08 - 0.74	0.35							
Wando	21.54 - 27.42	24.07	31.42 - 33.82	32.19	7.99 - 8.32	8.11	5.35 - 8.20	6.89	0.37 - 1.58	1.17	1.86 - 5.92	2.84	0.03 - 0.48	0.28							
Doam Bay	22.40 - 28.50	25.45	27.34 - 33.72	30.66	8.00 - 8.44	8.14	4.95 - 7.75	6.57	0.87 - 2.83	1.46	1.64 - 5.93	3.38	0.14 - 0.68	0.40							
Jindo	21.83 - 26.55	24.31	31.91 - 33.02	32.53	7.94 - 8.24	8.07	6.03 - 8.35	6.82	0.44 - 1.56	1.09	3.73 - 13.16	6.76	0.23 - 0.64	0.37							
Haenam	25.00 - 27.10	25.71	23.63 - 32.22	29.40	7.97 - 8.52	8.19	5.80 - 10.24	7.15	0.66 - 2.54	1.43	1.71 - 30.93	10.80	0.07 - 1.23	0.39							
Mockpo	24.98 - 27.07	25.75	13.49 - 30.56	26.52	7.95 - 8.43	8.16	5.68 - 8.96	6.80	1.38 - 2.96	2.08	2.63 - 40.15	13.01	0.09 - 0.81	0.37							
Shinan	23.00 - 26.40	24.26	29.78 - 32.62	31.44	7.79 - 8.21	8.02	5.37 - 8.26	6.60	0.74 - 1.85	1.41	6.43 - 26.46	11.94	0.17 - 0.66	0.37							
Mooan	25.47 - 27.01	26.33	25.70 - 31.40	29.49	7.99 - 8.21	8.08	5.89 - 7.47	6.58	1.20 - 1.84	1.52	8.35 - 20.55	13.93	0.26 - 0.67	0.46							
Hampyung Bay	25.80 - 28.25	27.20	30.62 - 32.67	31.81	7.97 - 8.13	8.03	5.91 - 7.86	6.76	1.14 - 1.87	1.53	5.60 - 17.01	9.25	0.13 - 0.83	0.46							

Appendix. Continued

August (Bottom)	Temperature (°C)			Salinity			pH			DO (mg L <sup>-1</sup> )			COD (mg L <sup>-1</sup> )			DIN (μmol L <sup>-1</sup> )			DIP (μmol L <sup>-1</sup> )		
	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	
Ulsan Bay	11.75 - 21.83	16.64	28.57 - 33.86	32.15	7.78 - 8.41	8.13	4.29 - 8.36	6.83	1.12 - 2.93	1.72	13.36 - 51.59	30.19	0.97 - 1.89	1.40							
Onsan Bay	9.87 - 19.10	15.22	32.85 - 33.73	33.32	7.84 - 8.42	8.18	4.30 - 9.49	7.15	0.77 - 2.92	1.74	14.04 - 49.62	28.43	0.56 - 2.38	1.41							
Busan	16.79 - 21.60	19.57	31.83 - 32.96	32.49	7.94 - 8.48	8.20	5.01 - 7.95	6.66	0.88 - 2.07	1.58	10.95 - 30.92	20.14	0.42 - 1.50	0.97							
Haengam Bay	20.71 - 25.00	21.99	29.38 - 32.30	30.82	7.72 - 8.75	8.35	2.17 - 7.39	5.02	1.21 - 4.43	2.40	11.07 - 44.86	32.88	1.03 - 6.29	3.27							
Masan Bay	19.10 - 24.40	21.39	27.50 - 31.70	30.02	7.87 - 8.72	8.32	0.81 - 7.44	2.99	1.97 - 3.76	2.88	35.04 - 73.14	52.57	1.82 - 5.23	4.00							
Jinhae Bay	20.27 - 24.08	21.48	30.56 - 32.50	31.43	7.93 - 8.69	8.36	2.36 - 7.41	4.78	1.10 - 2.46	1.98	15.29 - 38.88	27.11	0.59 - 3.34	2.10							
Geoje-1	17.55 - 22.78	19.37	31.60 - 33.40	32.68	8.04 - 8.56	8.31	5.08 - 9.92	7.01	0.54 - 1.93	1.29	10.31 - 25.02	16.83	0.56 - 1.50	0.92							
Geoje-2	18.02 - 21.90	20.22	30.59 - 33.57	32.23	7.90 - 8.18	8.07	4.68 - 7.72	6.34	0.47 - 1.92	1.11	2.81 - 10.28	5.67	0.41 - 1.36	0.86							
Tongyeong-1	19.58 - 24.80	22.10	29.79 - 33.36	31.47	7.91 - 8.13	8.03	3.61 - 6.86	5.69	0.99 - 2.88	1.65	2.31 - 12.51	7.28	0.13 - 0.94	0.52							
Tongyeong-2	18.10 - 23.62	20.84	30.34 - 33.72	31.91	7.90 - 8.18	8.08	5.00 - 8.17	6.14	0.21 - 2.09	1.12	2.21 - 4.97	3.62	0.15 - 0.90	0.45							
Jaran Bay	20.73 - 24.29	22.79	28.81 - 32.95	31.39	7.85 - 8.12	8.02	3.98 - 6.64	5.42	0.55 - 1.52	1.03	1.25 - 13.55	6.52	0.48 - 1.37	0.84							
Samcheonpo	20.49 - 23.89	21.95	28.07 - 33.06	31.14	7.94 - 8.16	8.01	4.72 - 7.24	5.88	0.17 - 2.25	1.15	2.04 - 15.70	9.68	0.61 - 1.42	0.94							
Jinju Bay	22.70 - 24.63	23.81	20.85 - 32.66	28.52	7.52 - 8.17	7.89	3.51 - 8.29	5.79	0.96 - 2.57	1.51	1.56 - 36.46	15.69	0.55 - 2.97	1.38							
Namhae Isl.	18.60 - 25.06	22.82	31.44 - 32.88	31.86	8.07 - 8.39	8.19	4.85 - 7.65	6.02	0.77 - 3.18	1.64	1.89 - 10.93	4.87	0.06 - 1.12	0.66							
Gwangyang Bay	22.22 - 25.93	23.68	25.94 - 31.89	29.46	7.97 - 8.59	8.21	3.87 - 8.39	5.81	1.14 - 3.19	2.26	3.39 - 25.18	15.74	0.32 - 2.88	1.74							
Yosu	20.71 - 24.97	23.17	29.57 - 32.41	30.88	8.02 - 8.79	8.24	4.20 - 7.03	5.89	1.02 - 3.21	1.98	6.12 - 16.44	10.43	0.11 - 1.80	1.15							
Gamak Bay	23.24 - 26.71	24.58	29.56 - 31.84	30.51	7.91 - 8.38	8.15	4.50 - 7.83	6.50	0.41 - 3.21	1.60	3.48 - 16.59	8.94	0.03 - 1.55	0.86							
Yeoja Bay	23.57 - 27.21	25.39	27.49 - 31.53	29.36	7.85 - 8.33	8.07	5.13 - 7.21	6.18	1.28 - 3.38	2.19	5.99 - 25.00	13.80	0.09 - 1.55	0.78							
Goheung	22.15 - 26.70	24.23	30.61 - 32.43	31.46	7.89 - 8.23	8.07	5.96 - 7.97	7.16	1.36 - 2.01	1.68	1.77 - 14.64	6.13	0.11 - 1.12	0.59							
Deukryang Bay	23.39 - 26.66	24.86	29.88 - 32.29	31.07	7.97 - 8.27	8.13	6.28 - 11.81	7.77	1.62 - 2.57	2.01	2.10 - 13.02	5.29	0.02 - 1.12	0.48							
Jeju	20.53 - 25.29	23.01	30.69 - 32.81	31.91	8.05 - 8.22	8.15	5.26 - 7.29	6.44	0.87 - 1.57	1.27	3.69 - 18.84	9.70	0.18 - 0.91	0.58							
Jocheon	19.73 - 23.24	21.14	31.35 - 33.21	32.68	8.12 - 8.25	8.18	5.04 - 7.28	6.42	0.55 - 1.16	0.85	1.80 - 7.13	4.40	0.10 - 0.65	0.44							
Seongsan	19.43 - 22.36	21.43	31.54 - 33.18	32.41	8.09 - 8.26	8.18	5.01 - 7.25	6.33	0.67 - 1.12	0.91	3.11 - 12.88	7.57	0.10 - 0.83	0.43							
Pyuseon	14.80 - 19.94	17.48	33.15 - 34.20	33.67	8.08 - 8.26	8.19	4.59 - 6.89	5.85	0.27 - 2.85	1.02	1.58 - 9.63	5.27	0.24 - 1.32	0.60							
Seoguipo	19.88 - 23.22	21.58	31.64 - 33.23	32.48	8.08 - 8.26	8.17	5.87 - 7.66	6.81	0.78 - 1.56	1.10	4.83 - 30.13	13.76	0.17 - 0.85	0.51							
Daejung	17.80 - 23.04	20.60	32.15 - 33.94	32.94	8.13 - 8.22	8.17	5.61 - 7.57	6.73	0.37 - 0.78	0.62	3.52 - 6.68	5.29	0.20 - 0.60	0.44							
Hanlim	19.50 - 22.53	21.13	32.15 - 33.06	32.73	8.12 - 8.23	8.17	5.25 - 7.55	6.90	0.75 - 1.59	0.98	3.49 - 10.74	6.99	0.19 - 0.61	0.41							
Wando	20.64 - 26.24	23.03	31.70 - 33.92	32.54	7.99 - 8.32	8.11	5.71 - 8.21	6.61	0.26 - 1.69	1.04	1.88 - 4.80	2.81	0.06 - 0.62	0.37							
Doam Bay	21.95 - 25.80	24.29	30.07 - 33.79	31.84	8.00 - 8.44	8.14	5.16 - 7.25	6.25	0.68 - 1.94	1.27	1.32 - 6.50	3.60	0.28 - 0.94	0.52							
Jindo	21.78 - 25.63	23.59	31.98 - 33.25	32.62	7.94 - 8.24	8.07	5.38 - 7.77	6.24	0.45 - 1.54	1.05	3.54 - 9.93	5.96	0.23 - 0.64	0.44							
Haenam	21.50 - 26.00	24.03	26.89 - 32.29	30.15	7.97 - 8.52	8.19	5.03 - 9.20	6.41	0.46 - 2.42	1.33	0.90 - 22.93	8.17	0.09 - 0.45	0.30							
Mockpo	23.15 - 25.52	24.36	23.25 - 32.14	29.44	7.95 - 8.43	8.16	5.12 - 8.03	6.20	1.08 - 2.00	1.59	2.96 - 32.29	12.60	0.29 - 1.34	0.71							
Shinan	22.00 - 25.13	23.66	31.47 - 32.65	31.96	7.79 - 8.21	8.02	5.10 - 7.65	6.14	0.60 - 1.70	1.06	5.14 - 15.36	8.67	0.32 - 0.67	0.53							
Moan	25.50 - 26.61	26.08	28.99 - 31.49	30.25	7.99 - 8.21	8.08	5.25 - 7.02	5.99	0.59 - 1.76	1.26	6.36 - 30.77	16.73	0.17 - 0.78	0.56							
Hampyeong Bay	25.75 - 27.80	26.74	31.33 - 32.71	31.92	7.97 - 8.13	8.03	5.13 - 7.34	6.16	0.77 - 1.75	1.25	3.68 - 46.79	17.06	0.15 - 0.67	0.51							

Appendix. Continued

November (Surface)	Temperature (°C)			Salinity			pH			DO (mg L <sup>-1</sup> )			COD (mg L <sup>-1</sup> )			DIN (μmol L <sup>-1</sup> )			DIP (μmol L <sup>-1</sup> )		
	Range	Mean	Range	Range	Mean	Range	Range	Mean	Range	Mean	Range	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
Ulsan Bay	12.44 - 18.20	16.24	31.26 - 33.04	32.22	7.95 - 8.21	8.10	5.46 - 8.20	6.96	0.78 - 2.40	1.75	7.77 - 76.86	26.23	0.62 - 1.52	0.97							
Onsan Bay	13.85 - 18.56	16.60	31.95 - 33.40	32.82	8.03 - 8.33	8.13	6.04 - 8.21	7.27	1.24 - 2.68	1.88	9.83 - 20.45	15.82	0.28 - 1.45	0.84							
Busan	13.92 - 18.88	16.42	32.37 - 33.26	32.77	8.00 - 8.27	8.11	6.78 - 8.27	7.43	0.91 - 2.06	1.61	10.65 - 20.84	14.56	0.61 - 1.30	0.92							
Haengam Bay	13.31 - 17.86	15.58	31.71 - 33.38	32.38	7.98 - 8.57	8.16	5.82 - 10.24	8.09	0.22 - 3.79	2.40	4.59 - 36.93	19.63	0.68 - 9.68	3.82							
Masan Bay	13.55 - 17.72	15.54	28.89 - 33.59	31.08	7.89 - 8.19	8.03	4.64 - 8.58	6.55	0.52 - 3.68	2.34	9.79 - 53.54	25.03	0.56 - 4.46	2.70							
Jinhae Bay	13.44 - 17.42	15.79	29.91 - 33.58	31.80	7.96 - 8.34	8.09	5.08 - 8.59	7.40	1.27 - 2.15	1.79	5.66 - 16.61	12.13	0.70 - 1.42	1.08							
Geoje-1	14.21 - 18.18	16.24	32.00 - 33.72	32.91	7.97 - 8.27	8.10	6.70 - 8.26	7.58	1.08 - 1.42	1.28	5.10 - 19.00	9.58	0.48 - 1.10	0.74							
Geoje-2	11.08 - 17.05	14.89	32.73 - 33.95	33.17	7.77 - 8.22	8.04	5.55 - 9.12	7.11	0.58 - 1.45	1.15	4.41 - 26.55	12.27	0.68 - 0.95	0.79							
Tongyeong-1	7.28 - 17.34	14.03	32.22 - 33.63	32.84	7.72 - 8.12	7.96	5.61 - 9.44	7.38	0.60 - 2.03	1.23	5.19 - 15.43	11.34	0.36 - 1.35	0.88							
Tongyeong-2	10.18 - 17.65	15.33	32.62 - 33.96	33.17	7.74 - 8.17	8.02	5.85 - 9.05	7.36	0.72 - 1.45	1.23	3.19 - 14.20	9.21	0.35 - 0.91	0.59							
Jaran Bay	6.53 - 17.33	13.73	31.84 - 33.69	32.75	7.72 - 8.11	7.93	5.91 - 9.44	7.44	0.74 - 1.99	1.41	4.17 - 16.88	8.96	0.28 - 0.97	0.71							
Samcheonpo	6.53 - 17.83	14.98	31.72 - 33.39	32.44	7.71 - 8.17	8.02	5.75 - 9.29	7.40	1.11 - 2.21	1.50	3.79 - 14.67	7.66	0.45 - 1.09	0.75							
Jinju Bay	6.90 - 18.57	14.21	31.44 - 33.85	32.28	7.66 - 8.14	8.00	6.69 - 9.86	8.12	1.40 - 2.00	1.69	5.43 - 24.68	10.87	0.53 - 1.44	0.96							
Namhae Isl.	9.42 - 18.59	16.11	31.89 - 33.68	32.70	8.03 - 8.33	8.19	6.88 - 9.89	7.89	0.78 - 2.29	1.41	2.84 - 26.94	9.65	0.45 - 0.91	0.59							
Gwangyang Bay	6.05 - 18.09	15.09	30.17 - 32.33	31.66	7.96 - 8.27	8.13	6.64 - 11.44	8.11	1.31 - 2.75	1.94	13.75 - 21.71	17.39	0.60 - 5.80	2.55							
Yosu	7.04 - 18.67	15.53	30.90 - 33.03	32.18	8.01 - 8.32	8.19	7.04 - 10.52	8.05	0.81 - 2.17	1.39	7.08 - 11.66	9.44	0.71 - 1.69	1.32							
Gamak Bay	7.90 - 18.54	14.96	30.99 - 32.85	31.93	8.01 - 8.32	8.15	6.80 - 10.52	7.99	0.90 - 2.54	1.73	3.59 - 24.64	10.64	0.50 - 1.86	0.97							
Yeoja Bay	4.77 - 18.62	13.95	29.07 - 32.48	30.78	8.01 - 8.35	8.16	7.66 - 10.84	8.50	0.49 - 2.08	1.51	5.95 - 18.50	12.45	0.52 - 2.08	1.14							
Goheung	8.05 - 19.09	15.66	31.21 - 33.30	32.14	8.04 - 8.34	8.19	7.40 - 10.37	8.40	1.37 - 2.16	1.70	6.37 - 10.44	8.45	0.43 - 1.01	0.71							
Deukryang Bay	6.53 - 17.41	14.38	30.79 - 33.07	31.98	8.01 - 8.36	8.16	7.20 - 10.80	8.32	0.88 - 2.32	1.72	1.99 - 11.50	7.17	0.34 - 0.85	0.66							
Jeju	12.88 - 19.99	17.19	31.51 - 33.90	32.43	7.96 - 8.16	8.06	6.07 - 8.46	7.45	0.37 - 2.39	1.27	10.50 - 27.71	20.40	0.38 - 1.89	0.86							
Jocheon	13.77 - 20.08	17.66	32.50 - 33.63	33.18	7.98 - 8.24	8.11	6.61 - 8.46	7.57	0.55 - 2.11	1.10	3.68 - 11.04	8.26	0.22 - 1.64	0.66							
Seongsan	13.87 - 20.62	18.10	32.29 - 33.75	33.15	8.02 - 8.26	8.13	6.71 - 8.44	7.56	0.47 - 2.00	1.00	5.14 - 24.32	12.38	0.24 - 1.44	0.58							
Pyuseon	15.00 - 22.26	19.47	32.78 - 33.93	33.43	8.01 - 8.31	8.16	6.49 - 8.05	7.32	0.23 - 1.62	0.83	0.97 - 8.86	5.80	0.06 - 1.49	0.51							
Seoguiipo	14.82 - 22.38	19.35	32.15 - 33.79	33.10	8.03 - 8.39	8.17	6.38 - 9.20	7.71	0.35 - 1.45	0.87	5.70 - 14.52	9.94	0.20 - 1.11	0.50							
Daejung	14.80 - 22.06	19.06	31.89 - 33.93	33.20	8.03 - 8.32	8.16	6.34 - 8.76	7.43	0.44 - 1.44	0.79	3.27 - 9.55	6.47	0.18 - 1.07	0.54							
Hanlim	13.07 - 19.84	17.71	32.15 - 33.76	32.93	7.97 - 8.37	8.16	6.21 - 8.47	7.31	0.26 - 1.49	0.91	4.69 - 23.47	13.24	0.29 - 1.46	0.62							
Wando	9.08 - 17.93	14.84	31.12 - 33.59	32.95	7.97 - 8.22	8.09	7.15 - 9.39	8.00	0.45 - 1.72	1.09	4.86 - 12.05	7.44	0.26 - 1.47	0.55							
Doam Bay	8.20 - 18.91	14.73	31.09 - 33.54	32.75	7.96 - 8.25	8.07	6.78 - 9.58	8.04	0.39 - 1.77	1.06	3.87 - 12.82	7.49	0.21 - 1.57	0.60							
Jindo	7.78 - 17.93	14.58	30.90 - 33.45	32.70	7.97 - 8.20	8.07	7.42 - 9.41	8.23	0.74 - 1.71	1.14	5.36 - 10.68	7.23	0.18 - 1.86	0.62							
Haenam	5.90 - 18.80	14.81	30.47 - 32.23	31.39	7.98 - 8.20	8.07	7.01 - 9.83	8.23	0.90 - 1.69	1.32	2.79 - 14.18	8.69	0.19 - 0.63	0.44							
Mockpo	5.83 - 17.76	14.38	28.08 - 32.35	29.92	8.01 - 8.19	8.09	7.65 - 10.09	8.56	1.06 - 2.06	1.54	4.81 - 21.43	15.04	0.26 - 0.95	0.53							
Shinan	6.55 - 18.83	14.62	30.22 - 33.52	32.19	7.99 - 8.16	8.06	7.54 - 9.70	8.50	0.64 - 1.74	1.24	4.00 - 13.19	8.04	0.04 - 0.82	0.43							
Mooan	4.63 - 18.94	13.69	30.41 - 32.55	31.48	7.98 - 8.18	8.09	7.69 - 10.21	8.52	1.00 - 2.43	1.56	3.38 - 12.30	7.78	0.17 - 0.73	0.43							
Hampyeong Bay	3.35 - 19.05	13.20	30.54 - 32.77	31.48	7.90 - 8.18	8.01	7.51 - 10.34	8.72	1.00 - 1.88	1.39	3.71 - 15.14	9.60	0.16 - 0.85	0.46							



Appendix. Continued

November (Bottom)	Temperature (°C)			Salinity			pH			DO (mg L <sup>-1</sup> )			COD (mg L <sup>-1</sup> )			DIN (μmol L <sup>-1</sup> )			DIP (μmol L <sup>-1</sup> )		
	Range	Mean	Range	Range	Mean	Range	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range
Ulsan Bay	13.41 - 18.13	15.80	32.33 - 33.47	33.09	7.86 - 8.18	8.03	4.90 - 8.14	6.91	1.07 - 2.27	1.63	6.23 - 61.27	21.09	0.36 - 1.45	0.93							
Onsan Bay	13.84 - 17.80	15.76	31.58 - 33.80	33.18	7.93 - 8.26	8.03	5.32 - 8.26	7.30	1.02 - 2.02	1.56	7.10 - 16.07	12.94	0.24 - 1.53	0.89							
Busan	14.04 - 18.00	16.21	32.65 - 33.46	33.20	8.00 - 8.27	8.09	6.38 - 8.20	7.30	0.70 - 1.85	1.44	6.58 - 22.12	13.21	0.51 - 1.39	0.86							
Haengam Bay	13.36 - 17.57	15.58	30.96 - 33.40	32.10	7.98 - 8.45	8.11	6.15 - 8.97	7.53	0.18 - 3.25	2.07	7.88 - 67.79	24.48	0.59 - 6.97	2.86							
Masan Bay	13.78 - 18.32	15.63	29.28 - 33.54	31.27	7.90 - 8.12	7.99	4.69 - 8.52	6.54	0.79 - 3.15	2.08	5.79 - 39.57	21.39	0.49 - 3.85	2.41							
Jinhae Bay	13.49 - 18.28	15.99	31.08 - 33.56	32.19	7.92 - 8.30	8.05	5.14 - 8.56	6.87	1.17 - 2.03	1.62	5.65 - 20.29	12.91	0.68 - 1.81	1.17							
Geoje-1	14.22 - 17.49	15.96	33.13 - 33.89	33.38	7.95 - 8.23	8.07	5.41 - 8.17	6.65	0.79 - 1.86	1.13	5.46 - 19.09	12.59	0.63 - 1.24	0.87							
Geoje-2	11.33 - 17.13	14.88	32.83 - 33.93	33.24	7.74 - 8.17	7.99	5.59 - 8.99	7.07	0.66 - 2.07	1.33	4.01 - 23.68	11.56	0.71 - 1.98	1.06							
Tongyong-1	7.26 - 17.22	13.99	32.03 - 33.63	32.86	7.71 - 8.14	7.96	5.12 - 9.31	7.36	0.61 - 1.85	1.20	4.80 - 16.71	11.72	0.46 - 1.23	0.90							
Tongyong-2	10.22 - 17.62	15.26	32.67 - 33.94	33.24	7.69 - 8.16	7.98	5.46 - 8.83	7.20	0.54 - 1.61	1.03	2.89 - 11.86	8.12	0.43 - 1.28	0.75							
Jaran Bay	6.33 - 17.50	13.69	31.84 - 33.39	32.65	7.56 - 8.14	7.90	5.84 - 9.54	7.52	0.71 - 2.02	1.38	4.19 - 19.45	8.50	0.40 - 1.37	0.86							
Samcheonpo	6.63 - 17.77	14.62	31.74 - 33.47	32.59	7.68 - 8.18	7.98	5.52 - 9.09	7.41	1.26 - 2.39	1.61	2.84 - 10.50	7.08	0.37 - 1.45	0.82							
Jinju Bay	6.55 - 18.27	14.01	31.44 - 32.92	32.16	7.62 - 8.17	8.00	6.41 - 9.74	7.92	0.81 - 1.81	1.36	2.32 - 16.89	7.12	0.48 - 1.33	0.77							
Namhae Isl.	9.46 - 18.86	15.97	32.11 - 33.66	32.87	8.02 - 8.33	8.20	6.93 - 10.03	7.76	0.67 - 2.32	1.44	3.51 - 34.80	11.32	0.47 - 2.12	0.84							
Gwangyang Bay	6.00 - 18.08	14.92	30.41 - 32.57	31.83	7.96 - 8.26	8.14	7.23 - 11.43	8.12	1.09 - 2.89	1.86	11.38 - 17.58	14.14	0.82 - 3.88	2.13							
Yosu	7.22 - 18.52	15.54	31.08 - 33.06	32.31	8.02 - 8.28	8.19	7.04 - 10.89	7.95	1.05 - 2.20	1.43	7.64 - 9.69	8.78	0.70 - 1.86	1.34							
Gamak Bay	7.83 - 18.49	14.88	31.09 - 33.29	32.12	8.02 - 8.29	8.17	6.22 - 11.37	8.04	0.91 - 2.57	1.62	4.00 - 18.10	11.00	0.58 - 1.45	0.98							
Yeoja Bay	4.47 - 18.78	14.11	29.53 - 32.47	31.11	7.80 - 8.36	8.10	6.93 - 10.88	8.19	0.94 - 2.01	1.57	5.04 - 16.25	12.63	0.54 - 2.48	1.22							
Goheung	7.97 - 18.40	15.60	31.23 - 33.31	32.25	8.02 - 8.35	8.15	6.21 - 10.04	7.71	1.43 - 2.10	1.65	5.17 - 13.20	8.04	0.43 - 1.08	0.81							
Deukryang Bay	6.27 - 17.26	14.33	30.99 - 33.09	32.11	8.02 - 8.34	8.15	6.97 - 10.89	8.15	0.77 - 2.45	1.67	2.71 - 10.41	7.03	0.22 - 1.01	0.70							
Jeju	12.68 - 19.97	17.28	32.46 - 34.04	33.03	7.95 - 8.18	8.06	5.74 - 8.50	7.19	0.31 - 2.15	1.15	8.77 - 20.79	14.29	0.39 - 1.63	0.77							
Jocheon	13.67 - 20.02	17.50	32.52 - 33.63	33.17	7.98 - 8.27	8.10	6.25 - 7.68	7.18	0.55 - 1.97	1.03	4.25 - 13.30	9.05	0.27 - 1.49	0.64							
Seongsan	13.83 - 19.83	17.75	32.19 - 33.61	33.19	8.00 - 8.26	8.13	6.23 - 8.38	7.17	0.54 - 1.84	1.02	5.82 - 22.53	12.91	0.33 - 1.81	0.80							
Pyuseon	15.10 - 21.66	18.72	32.84 - 34.08	33.48	8.02 - 8.30	8.15	6.08 - 8.38	6.95	0.24 - 2.30	0.91	2.08 - 9.57	7.25	0.31 - 2.21	0.78							
Seogwipo	14.66 - 21.63	19.01	32.16 - 33.98	33.28	8.03 - 8.38	8.16	6.04 - 8.92	7.09	0.61 - 1.84	1.05	5.13 - 10.14	6.99	0.24 - 0.92	0.52							
Daejung	14.07 - 21.85	18.73	31.94 - 33.98	33.30	8.03 - 8.27	8.14	6.11 - 8.69	7.06	0.57 - 1.43	0.88	3.43 - 10.05	7.62	0.20 - 1.13	0.58							
Hanlim	12.40 - 20.38	17.61	32.19 - 33.82	33.20	7.95 - 8.32	8.14	5.88 - 8.89	6.98	0.50 - 1.40	0.84	3.83 - 19.92	13.48	0.47 - 1.15	0.65							
Wando	8.48 - 17.88	14.69	31.22 - 33.66	32.95	7.98 - 8.22	8.07	7.10 - 9.30	7.84	0.42 - 1.47	1.02	4.83 - 11.63	7.44	0.18 - 1.78	0.57							
Doam Bay	7.80 - 19.03	14.67	31.15 - 33.55	32.80	7.95 - 8.42	8.14	6.75 - 9.88	8.07	0.39 - 1.65	1.11	4.41 - 13.03	7.85	0.21 - 1.62	0.63							
Jindo	6.93 - 17.75	14.36	31.35 - 33.44	32.77	7.98 - 8.21	8.06	7.27 - 9.50	8.11	0.60 - 1.84	1.10	5.08 - 11.25	7.46	0.15 - 1.76	0.60							
Haenam	5.30 - 19.00	14.65	30.76 - 32.46	31.85	7.98 - 8.18	8.07	6.86 - 9.84	8.13	0.93 - 1.68	1.27	2.07 - 14.73	10.11	0.32 - 0.94	0.59							
Mockpo	5.58 - 17.70	14.25	30.05 - 32.53	31.20	7.98 - 8.19	8.08	7.56 - 10.01	8.48	0.76 - 2.73	1.49	4.90 - 17.37	11.68	0.33 - 0.90	0.55							
Shinan	6.25 - 18.64	14.60	30.43 - 33.03	32.07	7.99 - 8.16	8.06	7.39 - 9.83	8.29	0.36 - 1.75	1.18	5.07 - 13.19	8.08	0.07 - 0.84	0.43							
Mooan	4.57 - 18.96	13.61	30.40 - 32.52	31.48	7.98 - 8.18	8.08	7.57 - 10.47	8.32	0.97 - 1.81	1.37	3.36 - 13.13	7.81	0.14 - 0.71	0.37							
Hampyeong Bay	3.25 - 19.05	13.13	30.74 - 32.58	31.48	7.93 - 8.17	8.02	7.52 - 10.54	8.64	0.89 - 1.84	1.35	3.13 - 14.61	8.81	0.23 - 0.68	0.45							