

북동적도태평양 표층 수온변화에 따른 화학적 환경 특성

손승규⁽¹⁾, 현정호⁽²⁾, 박정기⁽²⁾, 지상범⁽²⁾, 김기현⁽²⁾

Characteristics of chemical environment by changing temperature at the surface layer in the northeast Equatorial Pacific

by

Seung-Kyu Son⁽¹⁾, Jung-Ho Hyun⁽²⁾, Cheong-Kee Park⁽²⁾,
Sang-Bum Chi⁽²⁾ and Ki-Hyune Kim⁽²⁾

요 약

본 연구는 1998년과 1999년 지구기후변화(El Niño/La Niña)의 직접적 영향권에 있는 북동적도태평양 해역에서 수층 구조변화에 따른 표층의 화학적 환경 특성을 조사하였다. 1998년 연구해역의 수온약층은 수심 90~110 m 사이에 형성되었고, 아질산염을 포함한 질산염 및 인산염은 표면혼합층이 발달된 수심 100 m 부근까지 낮은 농도를 보였다. 그러나 1999년에는 수온약층의 상승과 하강에 따라 위도별로 커다란 차이를 보였다. 이러한 수층구조의 변화로 영양염 분포 또한 영향을 받은 것으로 판단된다. 유광층대에서 수심별 적분된 질소와 인의 총량은 1998년 34 gN/m²과 7 gP/m²인 반면, 1999년은 130 gN/m², 18 gP/m²로 증가되었다. 따라서 연구해역의 유광대는 질소 96 gN/m²와 인 11 gP/m²이 용승 및 침강 작용에 의해 표층으로 유입되었음을 시사한다.

Abstract

Physical and chemical properties of the northeast Equatorial Pacific between 5 ° and 12 ° N along 131.5 ° W were investigated in association with changes in water column structures during the summer seasons of 1998 and 1999. Climatic disturbances such as El Niño and La Niña, should have affected this area during the study period. In 1998, a thermocline where temperatures rapidly decrease with depth, was formed at 90~110 m water depth. Nutrient depleting areas, specially for nitrate+nitrite and phosphate, or oligotrophic regions were extended down to approximately 100 m depth, which coincided with the surface mixed layer depth. However, in 1999, a very fluctuating thermocline was observed with latitudes. As a result of changes in the water column structures, nutrient concentrations also showed fluctuation parallel to the changes in other physical parameters. In the photic zone, depth integrated nitrogen and phosphorus values were 34

1) 정회원, 한국해양연구원 심해저자원연구센터, skson@kordi.re.kr

2) 한국해양연구원 심해저자원연구센터

gN/m², 7 gP/m² in 1998 and 130 gN/m², 18 gP/m² in 1999, respectively. The results indicated that nitrogen (96 gN/m²) and phosphorus (11 gP/m²) are supported by up-welling and down-welling phenomena with convergence and divergence in the study area.

Keywords: 북동 적도태평양, El Niño, La Niña, 질산염(Nitrate), 인산염(Phosphate), 유광대(Photic zone)

1. 서 론

대양의 수층 구조는 수온약층(thermocline)을 경계로 표층수 및 저층수로 구분되어(Millero and Sohn[1992], Ross[1995]) 표층은 유광층을 포함한 수심 약 200 m까지를 나타내고, 영구 수온약층(또는 주 수온약층) 이하 해저면 까지를 저층수로 나눌 수 있다(Broccker[1974], Bowden[1975]). 이중 표층은 표면혼합층(surface mixed layer)과 계절 수온약층(seasonal thermocline)으로 세분되어지고, 위도 및 계절에 따라 물리, 화학, 생물학적 환경변화가 큰 것으로 알려져 있다(Radenac and Rodier[1996]). 따라서, 표면혼합층과 계절수온약층이 포함된 표층의 환경연구는 수층환경을 이해하는 중요한 정보를 제공한다. 태평양의 수층 환경연구는 범 지구기후변화 및 탄소순환 등과 관련된 국제적 연구-GLOBEC, JGOFS, TOGA, WOCE 등 의 대상이 되고 있으며(Goyet and Peltzer[1994], Murray *et al.*[1992], [1995]), 특히 El Niño/La Niña의 경우, 해수면 변동 및 표층수온변화(Hemilton and Emery [1985], Taft[1985], Kessler and McPhaden[1995]) 그리고 생물량변화(Smith, 1985], Liu *et al.*[1996]) 등 태평양 수층환경 및 지구기후변화에 직접적인 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있다(Wallace[1985], Wanninkhof *et al.*[1995]).

최근 1991~1993년 수행된 U.S. JGOFS는 El Niño(1991-1992) 기간 중 해류, 수온, 염분 등의 물리적 특성변화를 중심으로(Kessler and McPhaden[1995], Hansen and Swenson[1996]) 유광층 내의 CO₂, 영양염 분포(Dandonneau[1995], Feely *et al.*[1995], Archer *et al.*[1996]), 일차생산력(Lindley *et al.*[1995], Barber *et al.*[1996]) 및 부유생물 분포(Kaczmarek and Fryxell[1995], Bidigare and Ondrusek[1996]) 등 수층에서의 다양한 환경변화를 보고하였으며, 이러한 El Niño

에 의한 영향은 수심 200 m 이내의 표층에서 직접적인 수층생태계의 변화요인으로 작용되고 있음을 제시하였다. 알려진 바와 같이 El Niño 현상이 발생하면 동태평양 적도 부근의 수온이 상승하고, 기압이 낮아지며, 풍속이 약해진다. 반면에 La Niña 현상이 발생하면 반대로 동태평양 적도 부근의 수온이 하강하고, 기압이 높아지며, 풍속이 강해지는 것으로 보고된다(Ross[1995]).

한편 적도태평양의 표층은 크게 북적도류(North Equatorial Current), 적도반류(Equatorial Counter Current), 남적도류(South Equatorial Current) 그리고 적도잠류(EUC) 등 4개의 해류가 있다(Pickard and Emery[1982]). 특히 동향류인 적도반류는 서향류인 남, 북적도류 사이에 위치하며(Hansen and Swenson[1993]), 계절 및 기후변동에 따라 남·북 방향으로 수백 km씩 이동되고, 경도에 따라서도 해류의 위치 및 폭의 차이 등을 보인다(Bitterman and Hansen[1989]). 남, 북 적도해류와 적도반류가 교차되는 해역은 발산(divergence)에 의한 용승(upwelling)과 수렴(convergence)에 의한 침강(downwelling) 현상이 발생되고, 이러한 작용은 표층의 물리, 화학 및 생물적 환경변화의 직접적 요인으로 작용된다(Dandonneau[1995], Hyun *et al.*[1998]). 따라서 연구해역의 표층 해류변동은 계절 및 기후변화에 따라 발생 위치가 변하게 되며 이로 인해 표층의 생물, 화학적 환경요인 외에 중·저층의 환경에도 영향을 줄 것으로 판단된다(Spencer[1975], Millero and Sohn[1992], Chester[1996]).

본 연구는 수층 환경에서 식물플랑크톤의 성장제한요인으로 생물 군집에 영향을 미치는 무기영양염류 중 질산염과 인산염을 분석하였다. 1998년과 1999년 2회에 걸쳐 지구기후변화(El Niño/La Niña)의 직접적 영향권에 있었던 북동 적도태평양 해역에서 수층 구조변화에 따른 표층의 화학적 환경 특성을 비교하였다.

연구해역의 표층해류 특성

연구해역의 표층 순환체계는 10°N 북쪽의 북적도류(NEC)와 4°N 남쪽의 남적도류(SEC)가 있으며, 이들 해류 사이 적도반류(ECC)가 동쪽으로 흐르고 있다(Bowden[1975], Pickard and Emery[1982]). 무역풍에 의해 형성된 북적도류의 표층 유속은 25~30 cm/s이고, 적도반류는 봄철을 제외하고는 35~60 cm/s의 유속으로 수심 1500 m 까지도 영향을 주는 것으로 보고된다(Millero and Sohn[1992]). 따라서 연구해역은 5~13°N 사이에 위치하여 이들 해류의 직접적 영향권에 있음을 알 수 있다. 1998년의 표층 해류는 6° 30' ~8° N 사이 최고 유속 30~40 cm/s의 동향류를 경계로 8° N 북쪽(유속 10~20 cm/s)과 6° N 남쪽(유속 약 50 cm/s)은 서향류가 흐르고 있었다. 6° 30' ~8° N 사이의 동향류는 북적도반류인 것으로 사료되나 경계가 명확하지는 않았으며, 8° N 북쪽과 6° N 남쪽의 해류는 각각 북적도류와 남적도류로 판단된다(해양수산부[1998]). 북적도류와 적도반류가 만나는 경계는 8° N로 생각되며, 발산에 의한 용승현상이 경계지역 부근 표층에서 발생되었을 것으로 사료된다(Pickard and Emery[1982]). 한편, 1999년의 표층해류는 10° N 이북에서 서향류가 18 cm/s의 유속으로 흐르고 있었고 남쪽 해역에서 동향류가 70 cm/s의 유속으로 흐르고 있었다(해양수산부[1999]). 따라서 1998년은 북적도류와 북적도반류의 경계가 8° N 사이로 추정되는 반면에 1999년은 이들 두 해류의 경계지역이 10° N 부근에 존재하였던 것으로 사료된다. 결과적으로 98년과 99년 사이 연구해역의 표층해류는 북적도류와 적도반류의 경계지역이 2° 이상(약 220 km) 남북으로 이동된 양상으로 나타났다. 이러한 사실은 적도반류의 위치가 과거 4~10° N(Pickard and Emery[1982]), 6~9° N(Bitterman and Hansen[1989]) 및 4~9° N(Hansen and Swenson[1996]) 등 계절 및 기후변동(특히, El Niño/La Niña 등)에 따라 남·북 방향으로 수백 km씩 이동했던 결과들과 일치하는 것으로 사료된다.

재료 및 방법

본 연구는 1998년(6월 25일~7월 26일)과 1999년(6월 15일~7월 11일)의 두 차례에 걸쳐 연구선 온누리호(한국해양연구소)를 이용하여 위도별

(1998년: 5~12°N, 1999년: 5~13°N, 131.5°W) 수층 구조를 관측하였다(Fig. 1). 연구해역은 태평양의 클라리온-클리퍼톤(Clarion-Clipperton) 균열대 사이의 해역으로 심해저 광물자원 개발과 관련 우리나라의 등록광구가 있는 지역(10°N 부근)을 포함한 평원지역이다.

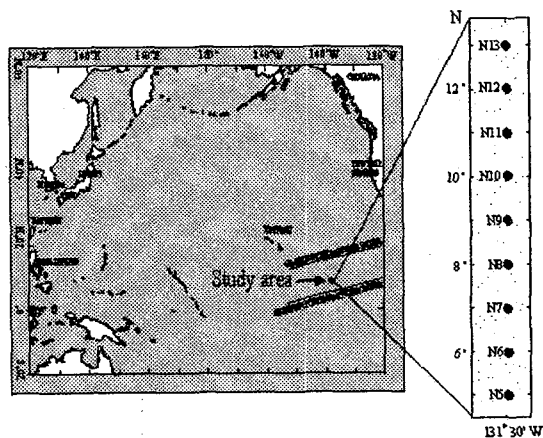


Fig. 1 Map showing sampling stations in the northeast Equatorial Pacific.

수온 및 염분자료는 미국 Sea-Bird Electronics 사의 '911 Plus CTD System으로 얻었으며, 분석에 필요한 해수 시료는 CTD Rosette에 부착된 채수기(Niskin sampler)를 이용하여 수심별로 채수하였다(Table 1). 또한 채수된 시료는 염산(10% HCl) 처리된 플라스틱 병(60 ml, HDPE)에 담아 냉동 상태에서 실험실로 옮겨진 후 영양염 자동분석기(Alliance)로 분석하였다(Parsons *et al.* [1984]).

결과 및 토의

1998-99년 위도별 수온 및 염분의 분포 특성

연구해역의 대표적인 수온분포를 Fig. 2에 나타내었다. 표층은 온도변화가 거의 없는 표면혼합층과 계절수온약층으로 구분된다. 표면혼합층은 고온저염수로 영양염이 고갈된 환경적 특성을 갖는다. 계절수온약층은 급격한 온도의 변화(감소)를 나타내는 수층으로서 표층과 중층간에 수층을 성층화하는 역할을 한다. 이러한 표층을 제외하면, 연구해역의 수온분포는 수심의 증가에 따라

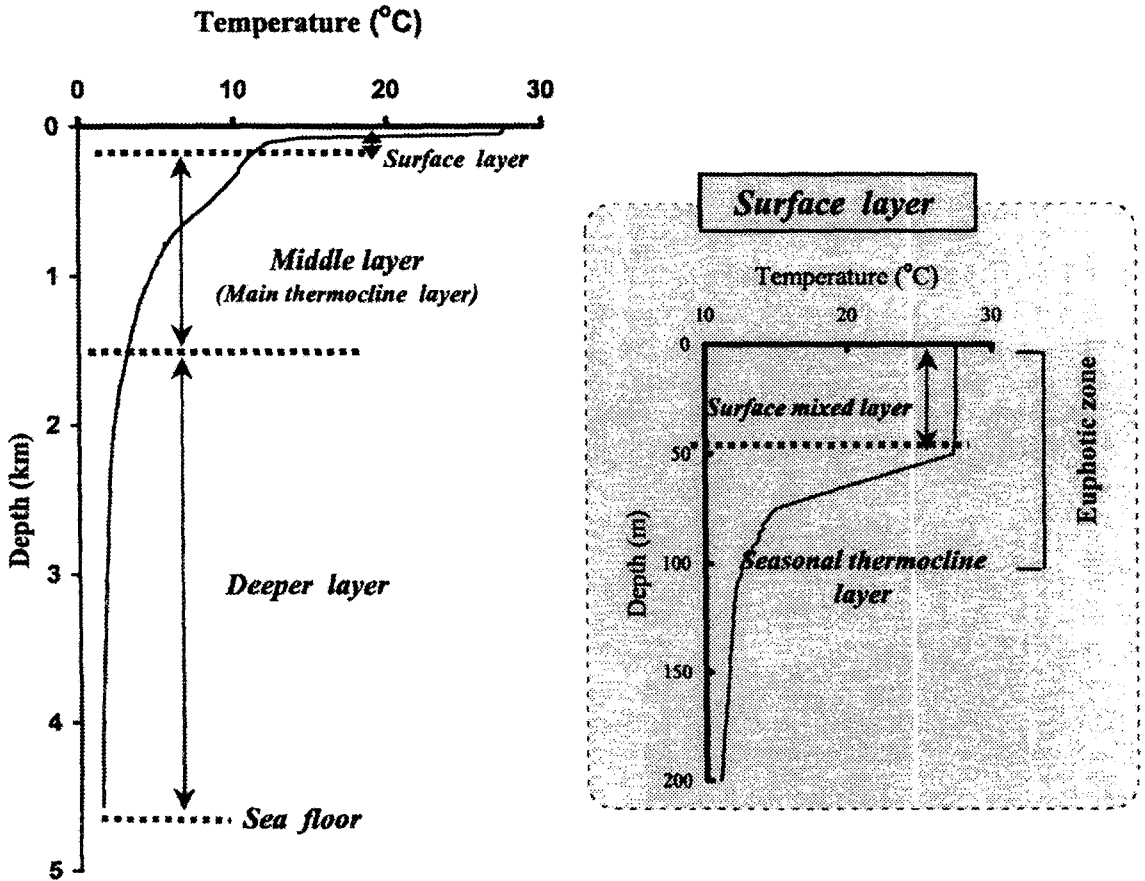


Fig. 2 Typical profile of temperature in the northeast Equatorial Pacific.

완전히 감소하며, 수심 1500 m이하 수층에서는 온도의 변화를 보이지 않는 것으로 알려져 있다.

1998년 연구해역의 가장 남쪽 정점인 N5는 수심 50 m 까지 표면혼합층이 형성되어 있었고, 수온은 약 27 °C로 균일하였다(Fig. 3A). 수심 50 m 이하 105 m 사이는 수온이 급격히 감소하여 수심 200 m에서 약 12.0 °C를 보였다. 수온약층의 두께는 100 m의 폭으로 등온선의 간격이 비교적 완만하고 규칙적인 양상을 나타내었다. N6, N7의 표층 수온은 약 1°C 상승하여 수심 50 m 부근까지 28°C를 보였고, 등온선의 기울기는 북쪽으로 점차 강하게 형성되어 나타났다. 수온 28°C 이상의 표층수는 정점 N7과 N11 사이에 형성되었고, 특히 N8에서 가장 깊게 존재하였다. 또한 N8에서는 수온약층이 다소 넓은 폭으로 상

승한 양상을 보였다. N9에서 N11사이에는 등온선의 기울기가 강하게 발달되어 급격한 온도의 감소를 보였고, 수심 90~110 m 사이에 뚜렷한 수온약층이 형성되어 성층화 현상이 강하게 나타났다. 가장 북쪽인 정점 N12의 표층 수온은 약 27 °C로 낮아졌으며 수심 30 m 부근까지 균일한 분포를 보이다가 수심 50 ~150 m 사이에는 완만하게 감소하였다. 수심 200 m 이하는 N7 남쪽에서 12°C 이상으로 나타난 반면 N8과 N12사이에는 12 °C 이하를 보였다. 또한 N9와 N11사이에 좁은 폭으로 발달되어 있던 등온선은 남, 북으로 점차 확산되어 폭이 넓어진 양상을 보였다(Fig. 3A). 등온선의 폭은 수온약층의 발달정도를 지시하며 이는 수층의 성층화에 직접적 영향으로 작용된다. 따라서, 수온약층 수심이 다소 상승된 정

점 N8을 경계로 남쪽은 혼합된 수층구조를 보였고, 북쪽은 성층화된 수층 구조를 보이는 것으로 사료된다.

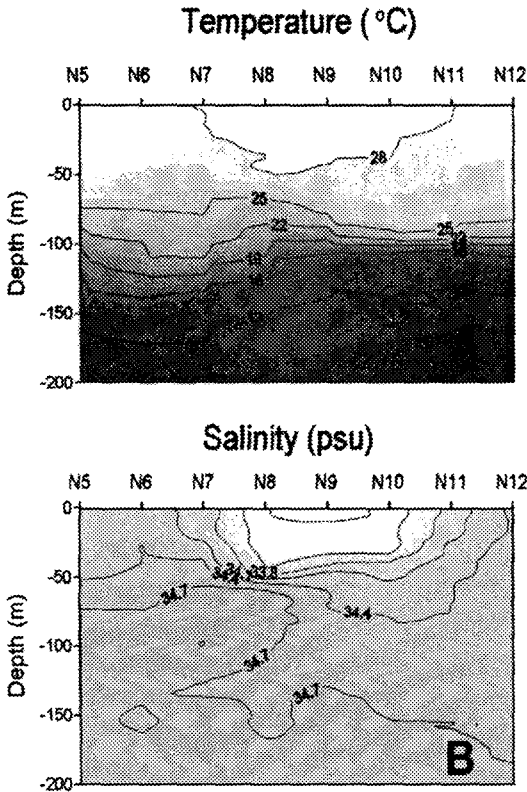


Fig. 3 Contours along 131.5° W of water temperature (A) and salinity (B) in the study area (1998).

연구해역의 표층 염분은 정점 N5의 경우, 표면 혼합층인 수심 50 m 까지 34.2 psu로 일정하다가 수심 50 m 이하 급격히 증가하여 수심 80~110 m 사이에 34.9 psu 이상의 최대염분층이 존재하였다(Fig. 3B). 수심 110 m 이하는 완만한 감소와 증가를 반복하여 수심 200 m에서 34.8 psu를 보였다. N6의 표층은 34.4 psu 값을 보였고 증가에 따라 증가하여 100~130 m 수층에서 34.9 psu 이상의 최대염분층이 존재하였다. N7은 수심 20 m 까지 34.0 psu로 거의 일정하다가 수심 20 m 아래에서부터 급격히 증가하여 수심 100~110 m 사이에 34.9 psu 이상의 최대염분층이 존재하

였고 수심 110 m 이하는 감소하다가 다시 증가하여 수심 200 m에서 34.8 psu를 보였다. 8~10° N의 수심 0~30 m 사이는 33.5 psu이하(수온 28°C 이상)의 고온 저염수가 분포하였고, N8에서 최대염분층의 수심이 60~70 m 사이로 가장 낮게 존재하였다. N9의 염분은 표층에서 33.1 psu의 값으로 가장 낮았으며 수심 증가에 따라 수심 200 m에서 34.7 psu값으로 최대염분층의 수심이 다시 깊게 나타났다. 이러한 양상은 N10과 N12에서도 동일하게 관측되었다. 한편 고온저염의 표층수는 정점 N10을 경계로 세력이 약화되어 33.9~34.4 psu의 값을 보였다(Fig. 3B). 아울러 최대염분층에서의 값은 남쪽보다 상대적으로 낮고 깊은 수심에 존재하는 것으로 사료된다.

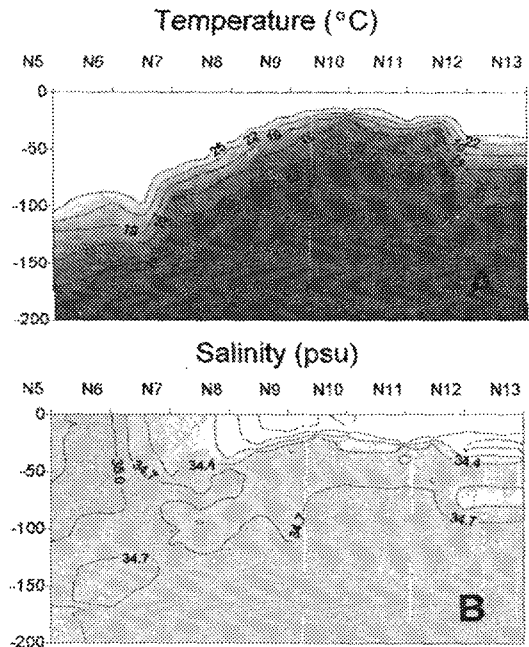


Fig. 4 Contours along 131.5° W of water temperature (A) and salinity (B) in the study area (1999).

1999년 위도별 수온과 염분 분포는 Fig. 4에 나타내었다. 가장 남쪽 정점인 N5는 수심 80 m 까지 표면혼합층이 형성되어 있었고, 수온은 약 27 °C로 균일하였다. 수온변화가 큰 수층은 80~170 m 사이로 12 °C 이상 감소하였으며, 이후 완

만히 감소하여 나타났다(Fig. 4A). N6의 수온은 N5와 유사한 분포를 보인 반면, 정점 N7에서는 표면혼합층이 수심 55 m까지로 상승하였고, 수온은 약 28 °C로 1°C 상승하였다. 수심 70~130 m에서는 수온이 급격히 감소한 후 완만한 감소를 보여 수심 200 m에서는 11.0 °C를 보였다. 정점 N8은 표면 혼합층은 약 40 m로 점차 표층으로 이동되어 나타났으며, 수심 40~110 m 사이 수층에서 수온이 급격히 감소하였다. 수심 110 m 아래에서는 완만히 감소하여 수심 200 m에서는 10.6 °C의 분포를 보였다. 표면혼합층은 점차 표층쪽으로 이동되어 정점 N9에서 약 20 m로 상승하였고, N10에서는 16 m로 가장 낮게 나타났다. 수온변화 또한 20~50 m 사이에서 급격히 감소한 후 다시 완만한 감소를 보여 수심 200 m에서는 10.8±0.2 °C를 보였다. 정점 N11에서 표면혼합층은 약 25 m로 점차 폭이 확산되었고, 혼합층 내 수온은 약 27 °C로 균일한 분포를 보이다가 수심 25~50 m 사이 급격히 감소한 후, 수심 50 m 아래는 완만히 감소하여 수심 200 m에서 11.0 °C의 분포를 보였다. 정점 N12, N13에서의 표면혼합층은 25~35 m를 보였고, 수심 40~80 m 사이에서 급격히 감소한 후 수심 200 m에서는 11.2±0.1 °C의 분포를 보였다(Fig. 4A). 이상의 결과로부터 표면혼합층의 수심 및 수온약층의 변화는 자연적 기상변화와 북적도류 및 적도반류가 만나는 경계에서 발생하는 수렴과 발산현상에 의한 것으로 사료된다(Pickard and Emery[1982], Dandonneau[1995]). 따라서 N5와 N6 해역은 수렴(convergence)에 의해 침강하였고, N9~N11 해역은 용승한 것으로 추정된다.

정점 N5의 염분은 표층부터 수심 50 m사이에서 34.98 psu의 고염분으로 거의 균일하다가 수심 50 m 아래에서부터 증가하여 수심 106 m에서 35.16 psu의 염분최대층이 존재하였다. 수심 106 m 아래에서는 완만히 감소하여 수심 200 m에서 34.63 psu를 보였다(Fig. 4B). N6의 염분은 N5와 유사한 분포를 나타내었으나 북쪽으로 이동되면서 표면혼합층 내의 염분농도가 점차 낮아졌다. 정점 N8에서 염분은 표면혼합층에서 33.93 psu를 나타낸 후, 수심 30~50 m에서 급격히 증가하여 34.79 psu(염분 최대층)를 보였다. 수심 50 m 아래에서는 완만히 감소하다가 다시 증가하여 수심 200 m에서 34.73 psu를 나타냈다. 표면혼합층에서 점차 감소된 염분은 N9에서 가장

낮은 값(33.3 psu)을 보였고 표면혼합층 폭이 감소되어 고온저염의 표층수 또한 수심 30 m까지 분포하였다. 표면혼합층의 수심이 16m로 가장 낮은 N10의 염분은 혼합층 내에서 33.5 psu의 일정한 분포를 보이다가 수심 16~40 m에서 급격한 증가와 감소를 반복한 후 수심 40 m 아래에서 완만히 증가하여 수심 200 m에서 34.74 psu 이었다. 정점 N11과 N13사이의 표면혼합층 염분은 N10을 기점으로 다소 증가되는 양상을 보였으나 수심 100 m이하에서는 34.7±0.4 psu의 분포를 보였다(Fig. 4B).

NOAA의 위성자료에서 보고된 바와 같이 연구해역은 1996년 겨울 남아메리카 연안부터 표층수온이 점차 상승하여 적도를 따라 서쪽으로 확산되어 1997년과 1998년 사이 적도 태평양해역에 El Niño현상이 발생하였고(Webster and Palmer [1997]) 이어서 1998년 겨울부터는 La Niña현상이 발생한 것으로 보고된다. 따라서 1998년 6월의 연구해역은 El Niño의 영향으로 28 °C 이상의 고온수가 북위 7°와 10° 사이의 표층에 분포하였고, 표면혼합층의 두께가 전정점에서 수심 60 m까지 확장된 것으로 판단된다. 그러나 1999년의 경우 연구해역은 La Niña의 영향으로 표면혼합층에서의 최고 수온이 98년보다 1 °C 정도 낮아졌고, 표면혼합층의 수심 또한 위도별로 큰 차이를 보이는 것으로 사료된다.

1998년 위도별 영양염 분포 특성

연구해역에서 측정된 질산염(nitrate+nitrite)과 인산염(phosphate) 농도분포를 Fig. 5와 표 1에 나타내었다. 1998년 수심 200 m까지의 질산염은 0.5~35.3 μM의 범위로 큰 폭의 농도 변화를 보였다(Table 1). 질산염 농도가 2 μM이하의 낮은 농도는 각 위도별로 표면혼합층에 형성되었고, 정점 N6과 N7을 경계로 남과 북쪽으로 확장되어 나타났다. 정점 N6은 수심 30~50 m 수층이 2 μM이상인 반면 정점 N10과 N11에서는 수심 90 m 부근까지도 1 μM이하의 저농도를 보였다(Fig. 5A). 농도 급변화층(nutricline)에서의 변화 정도는 수심변화(ΔZ, unit: m)에 따른 농도증감(ΔC, unit: μM)의 비(ΔC/ΔZ)로 표현하였다. 정점 N5의 수심 78 m에서 1.31의 비로 최대값을 보였으며, N6, N7의 경우 최대값은 수심 120~150 m 사이에서 0.14와 0.42의 비를 보여 이들

Table 1 Hydrological and chemical data in the study area.

1998						1999			
St.	Depth	Temp.	Sal.	Nitrate+Nitrite	Phosphate	Temp.	Sal.	Nitrate+Nitrite	Phosphate
	(m)	(°C)	(psu)	(MM)		(°C)	(psu)	(MM)	
N5	0	27.9	34.3	1.0	0.06	27.1	35.0	5.2	0.39
	10	27.8	34.3	1.0	0.06	27.1	35.0	4.9	0.41
	30	27.7	34.2	1.0	0.06	27.0	35.0	4.0	0.45
	50	27.6	34.3	1.7	0.09	26.3	35.0	10.4	0.38
	75	25.9	34.6	6.2	0.28	26.1	35.0	11.0	0.38
	78	25.1	34.7	10.1	0.51	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	100	21.0	35.0	15.8	0.77	25.6	35.1	11.5	0.34
	120	16.1	34.7	19.7	0.94	19.1	34.8	13.9	0.75
	150	13.7	34.7	26.0	1.25	15.9	34.7	15.0	0.76
	200	11.7	34.7	28.1	1.30	11.7	34.6	15.5	0.99
N6	0	27.7	34.4	1.6	0.26	27.1	35.0	4.5	0.37
	10	27.6	34.4	1.5	0.25	27.1	35.0	5.3	0.40
	30	27.1	34.4	1.6	0.26	27.0	35.1	5.3	0.39
	50	26.6	34.5	3.2	0.32	26.8	35.1	12.0	0.37
	70	25.7	34.7	5.0	0.39	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	75	24.7	34.7	4.8	0.43	26.5	35.1	12.6	0.41
	100	23.4	34.8	7.2	0.60	21.3	34.8	13.9	0.57
	120	21.6	34.9	10.0	0.59	18.5	34.8	15.8	0.81
	150	15.9	34.7	13.0	0.79	13.1	34.6	20.8	1.16
	200	12.5	34.8	34.0	1.64	11.4	34.7	19.1	1.10
N7	0	28.1	34.0	1.1	0.17	27.7	34.3	1.3	0.25
	10	28.1	34.0	1.0	0.17	27.7	34.3	1.3	0.24
	30	27.6	34.3	1.7	0.22	27.7	34.3	1.4	0.25
	50	26.6	34.6	3.9	0.32	27.6	34.3	1.6	0.29
	75	25.1	34.9	4.9	0.37	22.0	34.7	6.5	0.94
	80	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	19.2	34.6	10.6	0.89
	100	23.1	34.9	5.8	0.44	14.6	34.7	13.4	1.03
	120	18.4	34.7	8.4	0.60	12.9	34.7	25.0	1.59
	150	13.3	34.8	24.2	1.62	11.7	34.8	26.3	1.50
	200	12.4	34.8	21.0	1.40	11.0	34.7	26.2	1.69
N8	0	28.3	33.2	1.1	0.16	27.3	33.9	1.6	0.27
	10	28.3	33.3	1.1	0.18	27.3	33.9	2.9	0.37
	30	28.3	33.3	1.0	0.16	27.3	34.0	2.3	0.30
	50	28.4	34.1	1.0	0.15	21.4	34.8	4.7	0.65
	62	26.0	34.7	2.3	0.29	19.3	34.8	13.4	0.84
	75	22.6	34.8	7.3	0.48	15.7	34.7	13.2	0.86
	100	19.7	34.8	11.6	0.78	12.8	34.7	24.6	1.56
	120	16.6	34.7	17.2	1.16	11.9	34.7	16.4	1.33
	150	13.0	34.6	19.2	1.43	11.2	34.7	17.9	1.38
	200	11.6	34.7	26.0	1.72	10.6	34.7	15.5	1.28

북동직도태평양 표층 수온변화에 따른 화학적 환경 특성

Table 1 Continued.

1998						1999			
St.	Depth	Temp.	Sal.	Nitrate+Nitrite	Phosphate	Temp.	Sal.	Nitrate+Nitrite	Phosphate
	(m)	(°C)	(psu)	(MM)		(°C)	(psu)	(MM)	
N9	0	28.4	33.0	0.7	0.19	26.8	33.3	1.5	0.13
	10	28.5	33.2	0.5	0.17	26.8	33.3	1.1	0.13
	30	28.2	33.8	0.5	0.17	23.6	34.2	6.9	0.35
	50	27.3	34.3	0.5	0.18	19.6	34.7	8.0	0.59
	75	26.1	34.5	0.5	0.21	15.7	34.6	7.1	0.87
	90	22.0	34.5	5.7	0.64	13.1	34.7	20.9	1.47
	100	18.8	34.6	15.4	1.24	12.1	34.7	19.2	1.49
	120	13.8	34.7	18.2	1.51	11.6	34.7	17.4	1.07
	150	12.5	34.8	21.4	1.58	11.2	34.7	25.1	1.35
200	11.7	34.8	25.3	1.74	10.6	34.7	27.5	1.74	
N10	0	28.3	33.0	0.5	0.21	26.8	33.5	2.6	0.19
	10	28.3	33.3	0.5	0.21	26.8	33.5	2.4	0.12
	30	28.1	33.6	0.5	0.21	18.4	34.4	9.1	0.46
	50	27.3	34.1	0.5	0.20	14.7	34.3	10.2	0.76
	75	26.8	34.4	0.5	0.21	13.3	34.7	18.2	1.18
	90	25.0	34.4	3.1	0.44	12.6	34.7	25.1	1.48
	100	17.7	34.5	13.3	1.13	12.0	34.8	25.3	1.45
	120	14.2	34.6	19.4	1.37	11.7	34.8	24.4	1.45
	150	12.5	34.7	23.2	1.50	11.4	34.8	20.6	1.12
200	11.6	34.7	26.4	1.82	10.9	34.7	25.3	1.58	
N11	0	27.8	33.8	0.5	0.22	26.8	34.6	1.4	0.25
	10	27.7	33.8	0.5	0.21	26.8	33.6	1.3	0.19
	30	27.4	34.5	0.5	0.21	19.9	34.7	10.9	0.84
	50	26.2	34.5	0.6	0.21	14.2	34.6	26.4	
	75	24.1	34.5	0.6	0.20	13.0	34.7	16.7	1.41
	90	N.D.	N.D.	N.D.		12.6	34.8	13.1	1.03
	100	15.3	34.6	13.7	1.12	12.3	34.8	23.7	1.86
	120	12.6	34.7	22.8	1.55	11.8	34.8	18.1	1.34
	150	11.8	34.7	25.6	1.79	11.5	34.8	23.8	1.79
200	11.2	34.7	26.9	1.80	11.0	34.7	27.9	1.91	
N12	0	27.6	34.5	0.5	0.04	27.5	33.7	2.5	0.14
	10	27.6	34.5	1.0	0.02	27.4	33.7	2.5	0.13
	30	27.2	34.5	1.8	0.01	20.4	34.6	13.5	0.74
	50	26.0	34.6	0.6	0.03	15.8	34.6	22.0	1.17
	75	24.6	34.6	0.6	0.02	13.3	34.7	28.3	1.69
	100	20.0	34.5	N.D.	N.D.	12.3	34.7	29.7	1.54
	110	15.4	34.5	13.5	0.76	N.D.	N.D.	N.D.	
	120	13.7	34.6	N.D.	N.D.	12.0	34.8	28.3	1.62
	150	12.1	34.7	33.5	1.92	11.7	34.8	28.3	1.36
	200	11.3	34.7	35.3	1.87	11.5	34.8	30.2	1.67
	Max.	28.5	35.0	35.3	1.92	27.7	35.1	30.2	1.91
Min.	11.2	33.0	0.5	0.01	10.6	33.3	1.1	0.12	

(N.D.: No Data)

해역이 N5와 비교하여 깊은 수심에서 완만하게 농도가 증가되고 있음을 보여주고 있다. 또한 정점 N9와 N10은 수심 100 m에서 최대값 0.97과 1.02의 값을 보여 다시 증가되어 나타났고 정점 N11과 N12는 수심 100~150 m사이에서 0.37~0.53의 비로 계산되었다. 각 정점별 농도 급변화층은 수온아래의 수심에 질산염증감비($\Delta[\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-]/\Delta Z$)가 0.4이상인 것으로 판단된다. 따라서 무기-질소의 농도 급변화층은 앞서 기술된 수온약층의 분포와 유사한 특성을 보여 정점 N8 남쪽은 다소 완만한 경사로 넓은 폭의 변화를 보인 반면, 북쪽의 정점들은 매우 급격하게 형성되어 있었다. 결과적으로 농도의 급격한 증가로 인해 수심 200 m 부근에서의 농도는 20.1~35.3 μM 범위와 평균 27.8 μM 값을 보였는데 이는 연구해역의 최대농도를 보이는 수층(750~1000 m 사이)에서 평균값인 35.0 μM 의 80 %를 차지하는 높은 농도이다. 이러한 사실로부터 연구해역은 표면혼합층 이하 수심 200 m 이내에서 미생물의 유기물 산화에 따른 영양염의 재생산과정이 활발히 일어나고 있음을 알 수 있다.

수심 200 m까지의 무기인 농도는 0.01~1.92 μM 범위와 평균 0.65 μM 의 값으로 분석되었다 (Table 1). 정점 N5에서는 수심 70m 부근까지 0.06 μM 의 낮은 농도를 보이다 수심의 증가에 따라 점차 증가되어 150 m의 경우 1.3 μM 의 농도를 보였다. N6에서는 표층에서 0.2 μM 이상의 농도를 나타내었고, 수심의 증가에 따른 농도 급변화층은 N5와 비교하여 더욱 확장되어 있었다. 정점 N7은 N6과 유사한 분포를 보였으나 농도 증가폭이 다소 좁아지는 경향을 보였다. 이러한 현상은 N8과 N9에서 뚜렷하게 나타났으며, 따라서 낮은 농도(<0.2 μM)의 표층수가 수심 50 m 까지 확산되었고, 수심의 증가에 따른 농도 증가가 급격히 나타났다(Fig. 5B). 각 정점별 수심 변화에 따른 최대 인산염증감비($\Delta[\text{HPO}_4^{2-}]/\Delta Z$)는 질산염의 최대값을 보인 수층과 잘 일치하여 나타났다. 결과적으로 정점 N8을 중심으로 성층화가 뚜렷한 북쪽으로는 표면혼합층 깊이까지 낮은 농도를 보였고, 수심 100 m 부근에서 농도 급변화층이 형성된 반면, 남쪽의 N6~N7 사이의 수층은 상대적으로 완만한 농도변화를 나타내어 수심 50 m부터 질산염과 인산염의 농도가 서서히 증가하여 나타났다.

한편 각 정점에서 측정된 질산염 및 인산염을 수심에 따라 적분하여 총량으로 제시하였다. 수심 200 m까지의 총 질산염은 274.3 gN/m^2 값으로 이중 수심 100 m 이내에는 12.2 % (33.6 gN/m^2), 100~150 m 사이는 35.5 % (97.4 gN/m^2)를 차지하였다. 정점별로는 N6이 28.6 gN/m^2 으로 최저값을 보인 반면 최대 값은 정점 N5에서 40.1 gN/m^2 인 것으로 계산되었다.

인산염의 경우 200 m까지의 값은 40.6 gP/m^2 으로 계산되었고, 이중 수심 100 m까지는 17.1 % (6.9 gP/m^2)와 100~150 m 사이에서는 34.9 % (14.2 gP/m^2)의 비율로 질산염과 유사한 분포를 보였다. 또한 연구해역의 표면혼합층(수심 0~60 m)에서의 질산염 및 인산염은 각각 6.3 gN/m^2 (2.31%)과 2.1 gP/m^2 (5.3 %) 값으로 나타나 표면혼합층이 빈영양 환경 (oligotrophic regions)임을 잘 지시하고 있었다.

1999년 위도별 영양염 분포 특성

1999년 측정된 질산염과 인산염의 위도별 분포를 Fig. 6에 제시하였다. 연구해역에서 수심 200 m까지의 질산염은 1.1~30.2 μM 의 범위와 평균

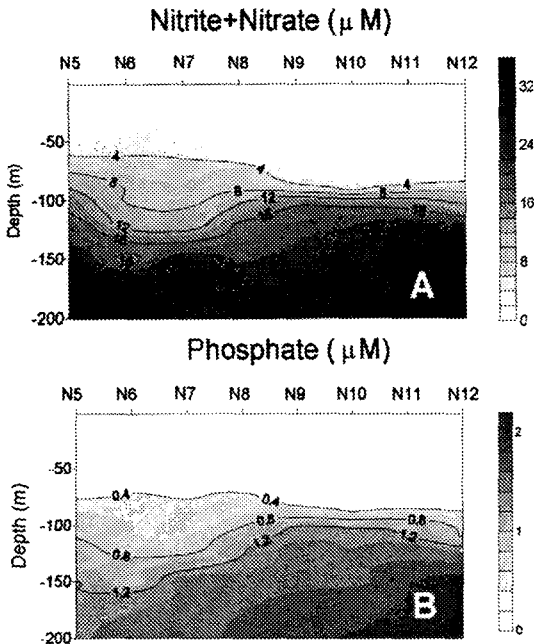


Fig. 5 Contours along 131.5° W of nitrate +nitrite (A) and phosphate (B) in the study area (1998).

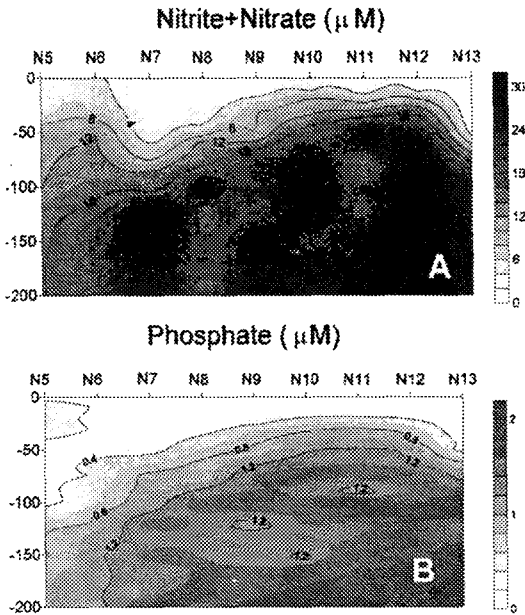


Fig. 6 Contours along 131.5°W of nitrate +nitrite (A) and phosphate (B) in the study area (1999).

13.9 μM 의 값을 보였다(Table 1). 정점 N5의 표층은 질산염의 농도가 4.5 μM 이상의 값으로 98년과 비교하여 다소 높게 나타났다. 수심변화에 따른 질산염 증감비($\Delta[\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-] / \Delta Z$)는 수심 30 m와 50 m사이에서 0.32로 최대값을 보였고 수심의 증가에 따라 0.1 이하의 값을 보이며 완만한 증가를 보였다. 정점 N6에서는 N5와 유사한 분포특성을 보인 반면, N7은 수심 50 m까지 2 μM 이하의 농도 분포를 나타냈고, 질산염의 증감비 또한 75 m 이하의 수층에서 최대값(0.83)을 보였다. 따라서 수심에 따른 농도의 증가로 인해 200m에서의 질산염 농도는 26.2 μM 의 값으로 N5, N6 보다 상대적으로 높게 분포하였다. 정점 N8의 경우 저농도(<2 μM)의 표층수는 점차 폭이 좁아져 30m 부근까지 형성되었고, 이러한 양상은 북쪽으로 이동되면서 더욱 확장되어 N10과 N11의 경우 10m 이내로 좁게 분포하였다. 따라서, 저농도의 표층수는 세력이 약화되어 우리나라 UN 광구등록지역내 심해환경연구해역을 포함하는 정점 N10의 경우, 표층 질산염 농도가 2.6 μM 이었으며, 10~20 m사이의 수심에서 질산염 증감비 또한 최대값(0.67)을 보여 수심 75

m에서 25.0 μM 이상의 농도값을 보였다. 정점 N12, N13은 저농도의 표층수가 다시 확장되었고, 수심 30~70 m사이에서 최대 증감비를 나타냈다. 또한 정점 N5~N12 사이 수심 100 m까지의 질산염 총량은 129.5 gN/m^2 으로 1998년도 값(33.6 gN/m^2)과 비교하여 3배 이상 증가되어 나타났다. 이상의 결과로부터 연구해역은 1998년 표층이하 수심 50~70 m 사이에 분포하였던 저농도의 표층수는 소멸하여 일부 정점에서 약하게 나타났으며, 표층까지 질산염의 공급이 이뤄지고 있음을 잘 보여주고 있다.

인산염은 0.12 ~1.91 μM 범위와 평균 0.91 μM 의 값을 보였고(Table 1), 최소값은 정점 N9를 기점으로 북쪽의 표층에 분포하였다(Fig. 6B). 정점 N5, N6의 표층은 0.40±0.02 μM 의 값으로 수심 200 m까지 완만하게(인산염 증감비 0.002 이하) 증가되었다. 표층농도는 북쪽으로 이동되면서 점차 낮게 분포하였고, 최대 증감비를 포함한 수심은 표층으로 이동되는 분포 특성을 보였다. 인산염 증감비는 -0.084~0.083의 범위로 각 정점의 10~75 m사이 수심에서 최대값이 분포하였으며, 증감비의 변화는 1998년도와 비교하여 상대적으로 낮은 폭을 보여 수심에 따른 농도의 증가가 다소 완만하였음을 시사한다. 아울러 정점 N5, N6의 수심 30~50 m 수층 및 N9, N11, N12 정점의 수심 100 부근에서는 증감비 값이 음의 값으로 나타나 이들 수층이 혼합된 환경임을 지시하고 있다. 연구해역의 해류순환에 관한 Pickard and Emery[1982]의 보고에 의하면 Coriolis force의 영향으로 북적도류(NEC)와 적도반류(NECC)가 교차되는 해역은 수온약층이 상승되고, 해수면이 낮아지며, 용승현상이 나타난다. 결과적으로 1999년의 연구해역은 N10을 기점으로 북적도류와 적도반류(NECC)가 교차되었으며 이로 인한 용승현상이 발생된 것으로 사료된다.

무기 영양염류의 농도비율(N/P molar ratio)

해수중의 영양염류들은 식물플랑크톤에 의해 동화되어 이용되고, 다시 배출되어 해수에 용해되며, 박테리아에 의해 재생산되는 순환과정을 갖고 있다(Spencer[1975]). 따라서, 외부의 인위적 환경변화가 없는 대양의 경우, 해수내의 여러 화학 성분 및 조성비는 소비와 생산의 순환 속에 일정한 관계를 유지하게 된다(Millero and Sohn[1992]). 해수 중의 각 성분(C, N, P, O 등)

비를 Redfield *et al.*[1963]가 제시한 이후 이들 성분비는 해양환경을 이해하는 지표로서 활용되고 있다. 본 연구에서는 식물플랑크톤의 성장제한 요인으로 작용하는 대표적 영양염류인 질산염과 인산염의 성분비(N/P molar ratio)를 제시하였다(Fig. 7).

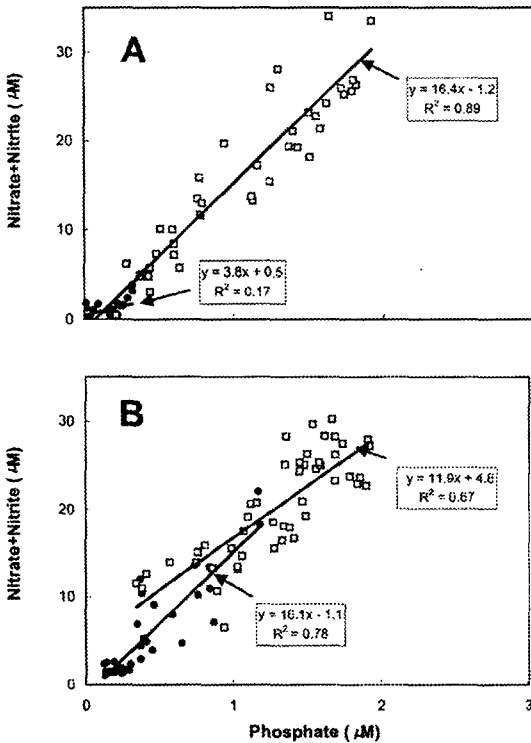


Fig. 7 Plots of nitrate+nitrite versus phosphate between 1998 (A) and 1999 (B) in the study area (●: Sampling depth ranged 0 ~ 60 m, □: Sampling depth ranged 60~200 m).

영양염의 농도가 낮았던 1998년의 경우 표층이하 60 m에서의 N/P비는 3.8의 값으로 낮은 상관도($R^2=0.17$)를 보인 반면, 60 m이하 200m 사이의 수층은 16.4의 비로 좋은 상관도($R^2=0.89$)와 Redfield 비(N:P=16:1)에 유사한 값으로 나타났다(Fig. 7A). 이러한 표층에서의 낮은 N/P비는 인보다 질소가 식물플랑크톤의 성장 제한요인(limiting factor)으로 작용되고 있음을 시사한다(Millero and Sohn[1992]). 그러나 1999년의 N/P

비는 0~60 m의 경우 16.1($R^2=0.78$)과 60~200 m에서는 11.9($R^2=0.67$)의 값을 보였다(Fig. 7B). 따라서, 1998년의 표층은 표면혼합층의 확장으로 인해 빈영양 환경이 발달되어 수온약층을 경계로 수층간의 환경 차이가 뚜렷하게 나타난 반면, 1999년에는 저층으로부터 유입된 영양염에 의해 적합한 환경을 형성하고 있었다. 연구해역의 N/P 비는 저층수의 경우 15에 가깝고, 표층은 질소 부족으로 인해 매우 낮은 값으로 보고된다(Broecker[1974], Ku *et al.*[1995], Son and Park[1997]). 그러나 본 연구결과에서 밝혀진 바와 같이 표층의 N/P 비는 1998년과 1999년 사이 다르게 나타나고 있었다. 결국 이러한 화학적 환경의 변화는 수층내 생물군집, 개체수 및 분포 등에 직접적인 변화요인으로 작용되고 기초생산력 및 생체량 등의 차이를 지시한다(Kaczmariska and Fryxell[1995], Bidigare and Ondrusek [1996]).

1998-99년의 표층 환경 특성 비교

1998년과 1999년의 표층(수심 200m 까지) 환경특성은 다음과 같이 요약된다. 1998년의 표층은 수심 90~110 m 사이에 형성된 수온약층에 의해 성층화되어 빈영양 지역(oligotrophic region)과 부영양 지역(eutrophic region)으로 구분되었고 위도별로 큰 변화를 보이지 않았다(Fig. 8A). 그러나 1999년에는 수온약층의 상승과 하강에 따라 위도별로 커다란 환경적 차이를 보였으며, 영양염(N, P)의 유입으로 인하여 빈영양 지역이 중영양 지역(mesotrophic region)으로 전환되었다(Fig. 8B). 유광층(수심 100 m 까지)에서 질소와 인의 총량은 1998년 34 gN/m²과 7 gP/m²인 반면, 1999년은 130 gN/m², 18 gP/m²로 증가되었다. 따라서 연구해역의 유광대(photic zone)는 질소 96 gN/m²과 인 11 gP/m²이 용승 및 하강 작용에 의해 표층으로 유입되었음을 시사한다(Table 2). 결과적으로 연구해역의 질소와 인의 자연적 변화량은 질소: 3.8배, 인: 2.5배의 변동폭을 갖고 있는 것으로 사료된다. 한편 중층이하 전체 수층에서의 총량은 표층에서의 변화보다는 매우 낮은 변화(<5%)를 보였다. 중층 및 저층에서 기초생산력 등 표층 환경변화에 따른 영양파악을 위하여는 sediment trap 등의 장비를 활용한 장기적 관측이 요구된다.

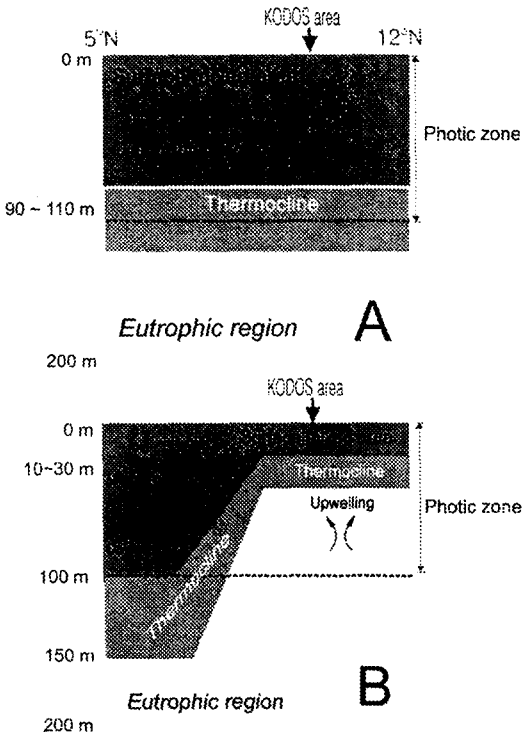


Fig. 8 Water column structures between 1998 (A) and 1999 (B) along 131.5°W in the study area

Table 2 Depth integrated inorganic nitrogen (nitrate+nitrite) and phosphorus values between 5 to 12°N(131.5°W) in the study area.

	1998		1999	
	gN/m ³	gP/m ³	gN/m ³	gP/m ³
0-100m	34	7	130	18
SURFACE*	233	36	306	43
DEEP**	14174	1956	14640	1856
TOTAL	14407	1992	14947	1899

*Data for water depth from 0 m to 200 m.

**Water depth ranged below 200 m up to bottom.

한편, 연구해역의 10°N 부근에는 심해저자원(망간단괴) 개발과 관련 UN으로부터 할당된 우리나라의 등록광구(KODOS area)가 있으며, 자원개발에 따른 환경보전연구를 지속적으로 수행해 오고있는 국가적 관심의 대상이다(해양수산부

[1999]). 따라서 본 연구결과를 통하여 확인된 자연적 변동은 차후에 수행될 망간단괴 채광에 따른 환경 모니터링연구 및 환경영향평가의 중요한 자료로 제시된다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 지원과제(심해저광물자원 탐사사업)의 연구비지원에 의하여 수행되었습니다. 현장 연구수행에 도움을 주신 온누리호 선장님 이하 전 승조원 분들과 자료분석에 도움을 준 김병록씨에게 감사드립니다. 본 논문을 세밀하게 심사하여 주시고, 좋은 조언을 해주신 심사위원 두 분께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 해양수산부, 1998. '98 심해저 광물지원 탐사 보고서, I 정밀탐사 및 환경연구. 한국해양연구소, 해양수산부, 1209 pp.
- [2] 해양수산부, 1999. '99 심해저 광물지원 탐사 보고서, I 정밀탐사 및 환경연구. 한국해양연구소, 해양수산부, 780 pp.
- [3] Archer, D.E., T. Takahashi, S. Sutherland, J. Goddard, D. Chipman, K. Rodgers and H. Ogura, 1996. Daily, "seasonal and interannual variability of sea-surface carbon and nutrient concentration in the equatorial Pacific Ocean", *Deep-Sea Res.*, Vol. 43, 779-808.
- [4] Barber, R.T., M.P. Sanderson, S.T. Lindley, F. Chai, J. Newton, C.C. Trees, D.G. Foley and Chavez, F.P., 1996. "Primary productivity and its regulation in the equatorial Pacific during and following the 1991-1992 El Niño", *Deep-Sea Res.*, Vol. 43, 933-969.
- [5] Bidigare, R.R. and Ondrusek, M.E., 1996. "Spatial and temporal variability of plankton pigment distributions in the central equatorial Pacific Ocean", *Deep-Sea Res.*, 43, 809-833.
- [6] Bitterman D.S. and Hansen, D.V., 1989. "Direct measurements of current shear in the tropical Pacific Ocean and its effect on drift buoy performance", *J. of Atmospheric and*

Ocean Technology, Vol. 6, 274-279.

- [7] Bowden, K. F., 1975. "Oceanic and estuarine mixing processes", In: Chemical Oceanography, edied by J.P. Riley and G. Skirrow, 2nd, Academic Press Inc., 606 pp.
- [8] Broecker, W.S., 1974. Chemical Oceanography. Harcourt Brace Jovanovich, Inc., 214 pp.
- [9] Chester, R., 1996. Marine geochemistry. Chapman & Hall, London, 698 pp.
- [10] Comeau, L.A., A.F. Vezina, M. Bourgeois and Juniper, S.K., 1995. "Relationship between phytoplankton production and the physical structure of the water column near Cobb Seamount, northeast Pacific", *Deep-Sea Res.*, Vol. 42, 993-1005.
- [11] Dandonneau, Y., 1995. "Sea-surface partial pressure of carbon dioxide in the eastern equatorial Pacific (August 1991 to October 1992), A multivariate analysis of physical and biological factors", *Deep-Sea Res.*, Vol. 42, 349-364.
- [12] Feely R.A. R. Wanninkhof, C.E. Cosca, P.P. Murphy, M.F. Lamb and Steckley, M.D., 1995. "CO₂ distributions in the equatorial Pacific during the 1991-1992 ENSO event", *Deep-Sea Res.*, Vol. 42, 365-386.
- [13] Goyet, C. and Peltzer, E.T., 1994. "Comparison of August-September 1991 and 1979 surface partial pressure of CO₂ distribution in the equatorial Pacific Ocean near 150° W", *Mar. Chem.*, Vol. 45, 257-266.
- [14] Hansen, D.V. and Swenson, M.S., 1996. "Mixed layer circulation during EqPac and some thermochemical implications for the equatorial cold tongue", *Deep-Sea Res.*, Vol. 43, 707-724.
- [15] Hemilton, K. and Emery, W.J., 1985. "Regional atmospheric forcing of interannual surface temperature and sea level variability in the northeast Pacific", In: El Niño North edited by Wooster, W.S. and Fluharty, D.L., Washington Sea Grant Program, Seattle, 22-30.
- [16] Hyun, J.H., K.H. Kim, S.B. Chi and Moon, J.W., 1998. "Distribution ATP in the deep-sea sediment in the KODOS 97-2 area, northeast equatorial Pacific Ocean", *J. Kor. Soc. of Oceanogr.*, 「The Sea」, Vol. 3, 142-148.
- [17] Kaczmarek, I., Fryxell, G.A., 1995. "Micro-phytoplankton of the equatorial Pacific: 140 °W meridional transect during the 1992 El Niño", *Deep-Sea Res.*, Vol. 42, 535-558.
- [18] Kessler, W.S. and McPhaden, M.J., 1995. "The 1991-1993 El Niño in the equatorial Pacific", *Deep-Sea Res.*, Vol. 42, 295-333.
- [19] Ku, T.L., S. Luo, M. Kusakabe and Bishop, J.K.B., 1995. "238Ra-derived nutrient budgets in the upper equatorial Pacific and the role of "new" silicate in limiting productivity", *Deep-Sea Res.*, Vol. 42, 479-497.
- [20] Lindley, S.T., R.R. Bidigare and Barber, R.T., 1995. "Phytoplankton photosynthesis parameters along 140 °W in the equatorial Pacific", *Deep-Sea Res.*, Vol. 42, 441-463.
- [21] Liu D., G.A. Fryxell and Kaczmarek, I., 1996. "El Niño (1992) in the equatorial Pacific: low biomass with a few dominating species in the microphytoplankton", *J. Plankton Res.*, Vol. 18, 1167-1184.
- [22] Millero, F.J. and Sohn, M.L., 1992. Chemical Oceanography. CRC press, 414 pp.
- [23] Murray, J.W., E. Johnson and Garside, C., 1995. "A U.S. JGOFS process study in the equatorial Pacific (EqPac): Introduction", *Deep-Sea Res.*, Vol. 42, 275-293.
- [24] Murray, J.W., M.W. Leinen, R.A. Feely, J.R. Toggweiler and Wanninkhof, R., 1992. "EqPac: A process study in the Central Equatorial Pacific", *Oceanography*, Vol. 5, 134-142.
- [25] Parsons, T.R., Y. Maita and Lalli, C.M., 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis, Pergamon Press, 173 pp.
- [26] Pickard, G.L. and Emery, W.J., 1982. Descriptive physical oceanography. Pergamon Press, 249 pp.
- [27] Radenac, M.H. and Rodier, M., 1996. "Nitrate and chlorophyll distributions in relation to thermohaline and current structures in the western tropical Pacific during 1985-1989",

Deep-Sea Res., Vol. 43, 725-752.

[28] Redfield, A.C., B.H. Ketchum and Richards, F.A., 1963. "The influence of organisms on the composition of sea-water". In *The Sea* edited by Hill, M.N., Wiley, vol. 2, 26-77.

[29] Ross, D.A., 1995. *Introduction to oceanography*. Harper Collins, 496 pp.

[30] Smith P.E., 1985. "A case history of an anti-El Niño to El Niño transition on plankton and nekton distribution and abundances" In: *El Niño North* edited by Wooster, W.S. and Fluharty, D.L., Washington Sea Grant Program, Seattle, 121-142.

[31] Son, S.K. and Park, Y.C., 1997. "Environmental characteristics of nutrients and fluorescent organic matters in the Northeast Pacific Ocean (KODOS)", *J. Korean Environ. Sci. Soc.*, Vol. 6, 595-604.

[32] Taft, B.A., 1985. "El Niño Of 1982-83 in the Tropical Pacific", In: *El Niño North* edited by Wooster, W.S. and Fluharty, D.L., Washington Sea Grant Program, Seattle, 1-8.

[33] Wallace, J.M., 1985. "Atmospheric response to equatorial sea-surface temperature anomalies," In: *El Niño North* edited by Wooster, W.S. and Fluharty, D.L., Washington Sea Grant Program, Seattle, 9-21.

[34] Wanninkhof R., R.A. Feely, D.K. Atwood, G. Berberian, D. Wilson, P.P. Murphy and Lamb, M.F., 1995. "Seasonal and lateral variations in carbon chemistry of surface water in the eastern equatorial Pacific during 1992", *Deep-Sea Res.*, Vol. 42, 387-409.

[35] Webster, P.J. and Palmer, T.N., 1997. "The past and the future of El Niño. *Nature*, Vol. 390, 562-564.