

북동태평양 해역의 용존 자유아미노산 분포 및 조성 연구

손승규 · 박용철¹ · 이경용 · 김기현 · 이효진¹

한국해양연구소 심해저자원연구센터, ¹인하대학교 해양학과

Vertical Distribution and Composition of Dissolved Free Amino Acids in the Northeast Pacific Ocean

SEUNG KYU SON, YONG CHUL PARK¹, KYEONG YONG LEE
KI HYUNE KIM AND HYO JIN LEE¹

Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea
¹Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

북동태평양(9°54'~10°27'N, 131°43'~131°53'W)에서의 용존 자유아미노산 농도는 15.9~1778.2 nM의 범위를 갖으며, 평균 407.2 nM을 보였다. 표층 혼합층에서의 용존 자유아미노산은 60.1~1411.9 nM의 범위로 평균 535.2 nM을 보였으며, 계절 수온약층이 형성된 수심 50~150 m의 수층에서는 91.7~1778.2 nM의 범위와 평균 588.5 nM의 값으로 최대치를 포함하고 있었다. 또한 저층까지의 수층에서는 15.9~384.2 nM의 범위와 평균 175.1 nM을 나타내었다. 연구해역의 모든 정점에서 glycine, alanine, glutamic acid, serine 그리고 valine 등이 전체 농도의 약 60% 이상을 차지하며 우점하였고, isoleucine, tyrosine, methionine 그리고 phenylalanine 등은 낮은 비율을 보였다. 아미노산 작용기단별 몰%는 aliphatic neutral이 평균 59%로 가장 높았으며 aliphatic hydroxy 16%, acidic 12%의 순으로 나타났다. 총아미노산의 농도가 수층별로 유광층에서 높고 저층이 상대적으로 낮은 분포를 보이고 있으나, 각 아미노산의 조성 비율은 매우 유사하게 나타나고 있었으며 이러한 결과는 미생물작용 및 각 아미노산들의 수용성 등에 의하여 일정하게 유지되고 있는 것으로 사료된다.

Concentrations of total dissolved free amino acids (DFAAs) in the northeast Pacific Ocean (9°54'–10°27'N, 131°43'–131°53'W) ranged from 15.9 to 1778.2 nM, and the average was 407.2 nM. Concentrations of DFAAs in surface mixed layers, ranged from 60.1 to 1411.9 nM, and the average was 535.2 nM. Seasonal thermoclines with maxima were formed between the depth of 50 to 150 m. DFAAs in this layer were varied in concentrations from 91.7 to 1778.2 nM, and the average was 588.5 nM. DFAAs below the seasonal thermoclines fluctuated from 15.9 to 384.2 nM, and the average was 175.1 nM. Consequently, in average relatively abundant DFAAs were observed in the subsurface layer than the deeper layer. DFAA vertical profiles and compositions of station A showed similar to station B and C. Glycine, alanine, glutamic acid, serine and valine were predominant accounting for more than 60% of total amino acids. Isoleucine, tyrosine, methionine and phenylalanine comprised only few percents of total DFAAs in the study area. In mole % of amino acid, according to characteristics of functional group of amino acid, aliphatic neutral accounted for 59% and aliphatic hydroxy 16%, acidic 12%, respectively. Although differences in DFAA concentrations with depth were observed, the amino acid composition and mole % of deeper layers in all stations were similar to those of subsurface layers. The results indicate that individual DFAAs remains invariably in water columns relative to the compositions and distributions of DFAAs in the study area, which may be the result of close coupling between microbial activity and their water solubility.

서 론

해양환경에서 아미노산은 식물플랑크톤의 질소공급원으로서 매우 중요하며, 당류와 함께 종속영양 미생물에 의한 유기물 순환 및 에너지 공급단계에 중요한 작용을 한다(North *et al.*, 1975; Williams, 1975). 또한 각 아미노산은 고유의 생화학적 특성 및 생물의 선택적 이용 등에 따라 정성, 정량적 분포가 다양하게 나

타나며 결과적으로 해양환경에 대한 다각적인 정보를 제공하게 된다. 그러나 이러한 중요성에도 불구하고 해수 중 아미노산은 순환이 빠르고 매우 미량으로 존재하기 때문에 이를 정량화 하는 데는 고도의 기술을 필요로 한다. 따라서 초기 아미노산 연구는 농도가 다소 높은 공극수(pore water) 및 연안환경 연구에서 많이 진행되었으며(Wheeler *et al.*, 1974; North, 1975) 외해의 경우 연안의 농도에 비교하여 상대적으로 낮은(약 1/10배) 농도로

인해 덜 주목받았었다. 그러나 Lee and Bada(1977) 그리고 Lindroth and Mopper(1979) 이후 분석기법 및 기기의 진보와 더불어 대양에서도 많은 연구가 진행되게 되었다(Suttle *et al.*, 1991; Wenck *et al.*, 1991). 국내의 경우, 황해(Park *et al.*, 1994) 및 동해(Park *et al.*, 1995; 김, 1998) 등에서 연구가 수행된 바 있다. 아울러 태평양은 전체 해양 표면적의 약 49.8%를 차지하고 지구 전체 용량의 약 52.9%의 수권을 갖는 가장 큰 대양으로(Broecker, 1974) 최근 지구 탄소순환과 관련하여 JGOFS (the Joint Global Ocean Flux Study), WOCE(the World Ocean Circulation Experiment) 등 광범위한 연구가 진행된 바 있고(Goyet and Peltzer, 1994; Murray *et al.*, 1995), 또한 용존 유기탄소 기원(Williams and Druffel, 1987)과 유기탄소 분석방법(Sharp *et al.*, 1995) 및 분포 특성(Tanoue, 1993), 그리고 입자성 유기물(Cho and Azam, 1988) 및 형광유기물(Son and Park, 1997)등 많은 연구가 보고되었다. 그러나 태평양에서 일부 연안(Clark *et al.*, 1972; Carlucci *et al.*, 1984)을 제외하면 아미노산 분포에 관한 연구는 거의 진행된 바 없다.

아미노산 연구는 1954년 Stein and Moore의 ninhydrin을 이용한 분석방법이 소개된 이후 70년대 이전까지는 퇴적물이나 입자성 물질을 주 대상으로 분석되었다. 그러나 70년대 이후 fluorescamine, o-phthalaldehyde(OPA) 등의 형광유도체와 분석 기기의 개발에 따라 미량의 아미노산 측정이 가능하게 되었으며, 이에 따라 해양환경 연구에 본격적으로 적용하게 되었다(Gardner, 1978; Garrasi *et al.*, 1979; Lindroth and Mopper, 1979; Gardner and Miller, 1980). 특히, OPA를 사용한 형광유도체(pre-column fluorescence derivatization) 분석은 미량의 아미노산 분석에 매우 효율적이며 높은 감도를 갖고 있다(Lindroth and Mopper, 1979; Gardner and Miller, 1980). 아울러, 역상관(reverse phase column)을 이용한 아미노산 분석은 과거의 이온 교환방법과 비교하여 높은 효율과 분석상 편리함 그리고 분석시간 절약 등 많은 장점을 갖고 있다(Hill *et al.*, 1979). 따라서 본 연구에서 사용한 OPA-HPLC 분석은 현재 연안 및 대양 등 다양한 해양환경에서 사용되는 대표적인 아미노산 분석 방법이다

(Mopper and Lindroth, 1982; Lee, 1988; Suttle, *et al.*, 1991; Wenck *et al.*, 1991; Park *et al.*, 1994, 1995).

한편 연구해역은 1994년 UN으로부터 마간단과 채광을 위한 단독광구를 할당받은 이래 최종개발지역 확보를 위한 정밀탐사를 지속적으로 수행하고 있다(해양수산부, 1996, 1997). 아울러 연구해역은 채광시 유발될 환경변화에 대한 대응책 마련도 중대한 국가적 과제로 남아있다. 따라서 본 연구의 목적은 아미노산의 수층 별 세부 성분 조성과 분포 특성 등의 분석을 통하여 북동태평양 한국 심해연구해역에서의 유기 화학적 환경 특성을 밝히고자 한다.

재료 및 방법

연구해역의 위치는 북위 9°54'~10°27'과 서경 131°43'~131°53' 사이 해역으로 한국해양연구소 연구선 온누리호를 이용 1996년 5월에 3개 정점에서 수행되었다(Fig. 1). 수온 및 염분은 현장에서 CTD(SBE-911 Plus)에 의해 측정되었다. 해수시료는 CTD에 부착된 채수기(Niskin)를 이용하여 채수 하였으며, 질산(10% HNO₃) 처리한 20 ml 유리병(Teflon liner bottles)에 넣어 -20 °C 이하에서 보관한 후 실험실로 옮겨 분석하였다.

연구해역 주변인 적도 태평양 표층의 해수 순환체계는 크게 3 부류의 해류로 구분된다. 10°N 북쪽은 서향의 북적도류(North equatorial current)가 있으며, 4°N 남쪽은 남적도류(South equatorial current), 그리고 남북 두 적도류 사이 7°N 부근에는 적도반류(Equatorial counter current)등으로 구성되어 있다(Bowden, 1975). 따라서 본 연구의 조사시기인 1996년 5월의 표층 해류는 북적도류 영향을 받아 동에서 서쪽으로의 서향류가 약 30~60 cm/sec의 유속을 갖고 있었으며, 저층 해류는 대체로 북향류와 남향류가 반복되고 있으며 저층의 유속은 1~4 cm/sec로 표층 해류에 비교하여 약하게 나타났다(해양수산부, 1996). 또한 연구해역은 태평양 Clarion-Clipperton 균열대(C-C fracture zone)사이 해역으로 소규모 심해저 구릉(abysal hill)을 포함하는 심해저 평원지역으로 알려져 있다. 특히, 해저면은 규질연니 및

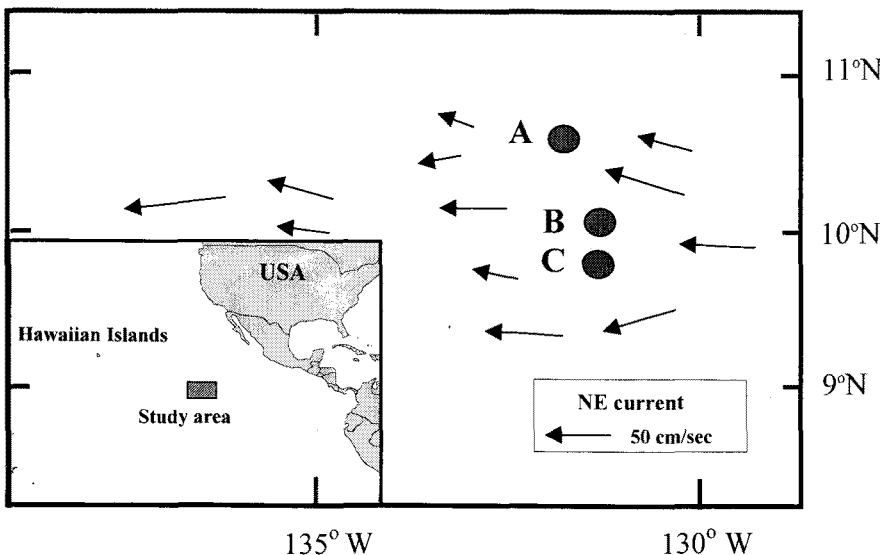


Fig. 1. Map showing sampling stations and horizontal distributions of surface current in the study area (NE current: North equatorial current).

적점토로 구성되어 있으며, 특히 유용금속 함량이 높은 망간단괴가 다량 분포하고 있다(해양수산부, 1996).

아미노산 분석

용존 자유아미노산 분석은 pH 9.5로 조절된 boric acid (Sigma, B-7660)에 o-phthaldialdehyde(Sigma, P-1378)와 N-acetyl-L-cysteine(Sigma, A-8199)를 용해시켜 형광유도체를 형성한 후 binary gradient HPLC를 이용하여 15개의 표준 아미노산을 분리 분석하였다. 이때 사용된 관은 역상가능한 ODS HPLC 관(Rexchrom 2501×4.6 mm, 100 Å)을 사용하였다. 각 시료당 분석 소요시간은 총 30분이었으며, 이동상의 유속은 1 ml/min로 하였다(Park et al., 1994).

결과 및 토의

연구해역의 수리적 특성

표층 수온은 27.2~27.6 °C로 정점 간 변화가 없었으며 수심 50 m까지는 거의 같은 수치를 보였다. 그러나 수심 50~120 m 사이에 계절 수온약층이 뚜렷이 존재하여 13 °C로 낮아졌다. 또한, 저위도 대양의 특성 중 하나로 나타나는 영구 수온약층이

수심 200 m이하 1,500 m 사이에 형성되어 다소 완만한 감소를 보였다(Bowden, 1975; 해양수산부, 1996). 중층이하의 경우, 2,000 m에서는 2.0 °C, 그리고 3,000 m에서는 1.5 °C, 4,000 m 이하 저층까지는 약 1.1 °C를 나타내었다.

염분의 경우, 표층은 북위 9°를 중심으로 남쪽에서 34.0 psu 이하의 저염수가 존재하였고, 북쪽에는 이러한 저염수가 관측되지 않았다. 또한 수심 100~200 m 사이에는 34.7 psu 이상의 고염수인 염분 최대층이 존재하여 태평양 열대수가 남북방향으로 전 해역에서 존재하고 있었다. 400~1,800 m 사이의 수층에는 염분 최소층인 34.6 psu 이하의 북태평양 중층수가 존재하였으며, 그 이하 해저까지 다시 서서히 증가하는 양상을 보였다. 중층수에서 염분 최소층이 형성된 것은 남극 중층수(Antarctic Intermediate Water)의 수평침입에 따른 물리적 희석에 의한 것이다(해양수산부, 1996; Son and Park, 1997). 또한 표층 혼합층의 깊이는 수심 45~70 m 사이로 위도에 따라 다소 차이를 보였다. 정점 B, C에서는 수심 약 50 m 부근이었고 북쪽의 정점 A에서는 남쪽의 정점들에 비교하여 다소 깊은 70 m 를 보였다. 이러한 결과는 서향의 북적도류(NEC)와 동향의 적도반류(ECC)가 8°N 부근에서 교차하여 발달된 역전수층의 영향으로 사료된다.

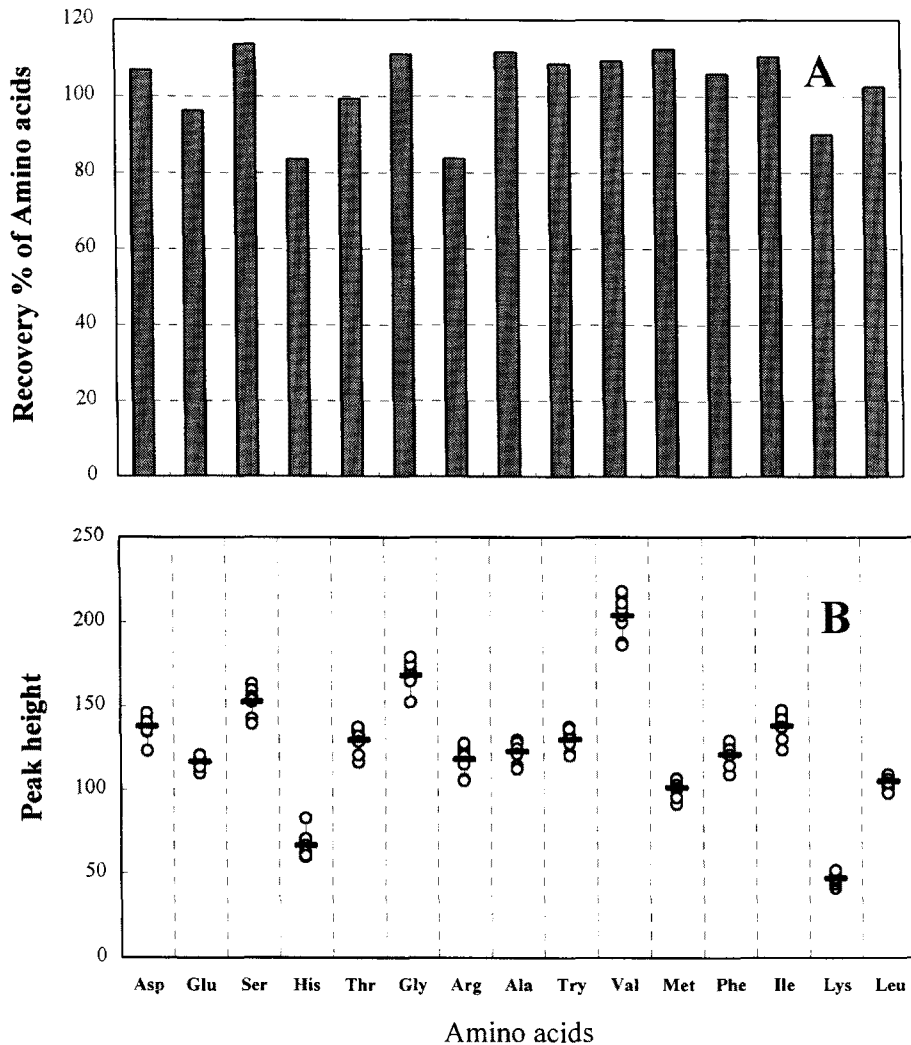


Fig. 2. HPLC column efficiency of individual amino acids with standard solution. Recovery percentage of individual amino acids with 0.1 and 1.0 μM standard solutions (A), and peak height of individual amino acids with 1.0 μM standard (B).

용존 자유아미노산의 조성

시료 분석에 앞서 본 연구에서는 아미노산 표준액(Sigma, AA-S-18)을 사용하여 HPLC system의 분석 조건을 확인하였다. 확인과정은 표준용액의 농도변화(0.1, 1 μ M)에 따른 재현성과 10 회 이상의 반복실험에 따른 각 아미노산의 체류시간(retention time) 및 최대높이 등에 대하여 실시하였다(Fig. 2). 표준액의 농도변화에 의한 재현성 실험은 83.6~113.7% 범위와 평균 100.7%로 대체로 안정된 결과를 보였다(Fig. 2A). 아미노산의 농도는 column을 통과하는 각 아미노산의 체류시간에 따라 분리되어 표준 아미노산 크로마토그램의 면적 또는 최대높이에 의한 상대농도로 환산된다. 표준액을 이용한 크로마토그램 면적의 경우, 각 아미노산 평균 면적에 대한 표준편차 비율은 5.5~15.4%(평균 8.6%, n=10)로 나타났으며 최대높이의 표준편차 비율은 3.6~11.9%(평균 5.29%, n=10)로 확인되었다. 특히 serine, arginine, valine 등의 경우, 크로마토그램의 면적에 의한 표준편차 비율이 최대높이의 비율보다 약 2배 높게 나타나 농도 계산시 더 불안정한 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구에서는 크로마토그램의 면적보다 변화의 폭이 작고 표준편차 비율이 낮아 상대적으로 안정된 값을 보인 최대높이를 사용하여 농도를 계산하였다(Fig. 2B). 또한, 각 아미노산의 체류시간은 1.8~10.7 sec의 범위로

5.6 sec(n=12)의 표준편차를 보였다. 각 아미노산 최대시간 간격(평균: 57.9 sec)의 약 9.7%를 차지하는 값을 보였다. 이러한 최대높이 및 체류시간은 기기의 상태 및 관 분해효율, 이동상의 혼합비 그리고 압력변화 등에 따라 매우 가변적이다(Johnson and Stevenson, 1978). 따라서 이러한 실험적 절차는 분석상 오차를 최소화하는 필수적 과정이며 반드시 확인해야 할 항목 중 하나로 사료된다.

이상과 같이 본 연구에서 아미노산 표준액을 사용하여 농도변화 및 최대높이 그리고 체류시간에 따른 재현성 실험 결과는 이전의 자료가 전혀 없기 때문에 확인할 수 없었으나 대체로 양호하였으며 안정된 기기 조건임을 확인하였다.

단백질의 기본 구성 성분인 아미노산은 amino group과 carboxyl group이 각각 산성기 및 염기성기를 갖고 있으며 이에 따라 생화학적으로 다양한 반응성을 갖게 된다(Barrett, 1985). 또한 대부분의 아미노산은 α -Carbon에 치환된 곁사슬(Side-chain R group)을 갖고 있으며 이들의 구조에 따라 여러 종류의 화학적 특성을 나타낸다. 각 아미노산은 메탄올 농도에 따른 용량인자(capacity factor: k') 및 수소이온 농도(pH) 그리고 수용성 등의 특성에 따라 분리된다(Lindroth and Mopper, 1979; Wenck *et al.*, 1991). 이러한 아미노산 중 가장 간단한 구조의 아미노산

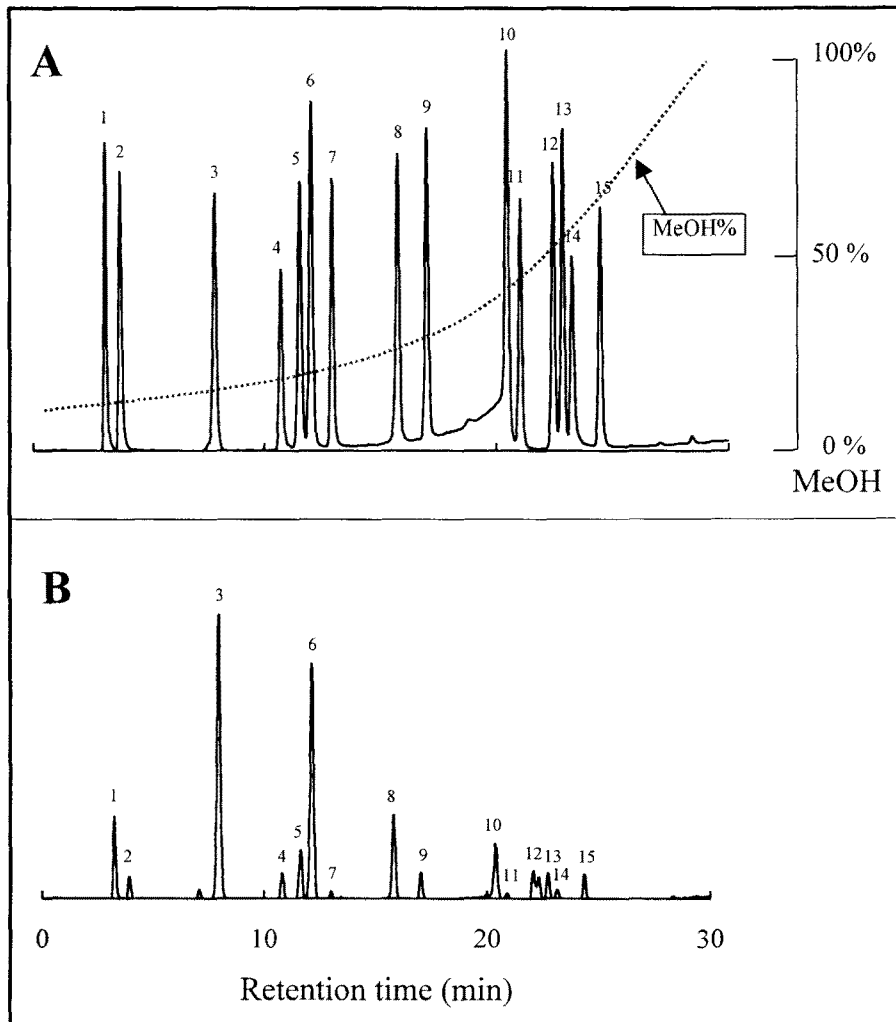


Fig. 3. Typical HPLC chromatograms of amino acid standard (A) and representative sample (B) of DFAA in the study area (1: aspartic acid, 2: glutamic acid, 3: serine, 4: histidine, 5: threonine, 6: glycine, 7: arginine, 8: alanine, 9: tyrosine, 10: valine, 11: methionine, 12: phenylalanine, 13: isoleucine, 14: lysine, 15: leucine).

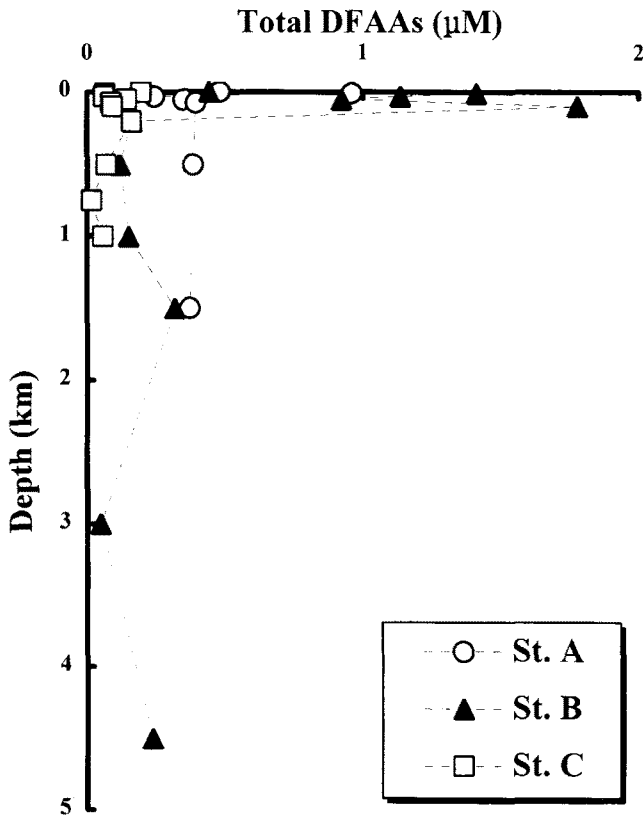


Fig. 4. Vertical profiles of total dissolved free amino acids in the study area.

수산부, 1996). 그러나 현재로서는 연구해역에서 우점하는 각 아미노산들에 대한 구체적인 요인을 규명할 수 있는 자료가 없다. 결과적으로 각 식물 플랑크톤의 군집에 따라 아미노산의 조성이 다르며 이와 관련된 배양실험을 한다면 우점하는 아미노산들의 기원을 구체적으로 밝힐 수 있을 것으로 사료된다.

아미노산의 작용기단(R groups)별 몰(mole) % 조성

본 연구에서 분석된 아미노산들은 결사슬의 특성에 따라 친수성(hydrophilic)인 acidic(negatively charged: Asp, Glu), basic(positively charged: Lys, His, Arg), aliphatic hydroxy(Ser, Thr)와 소수성(hydrophobic)인 aliphatic neutral(Val, Gly, Ala, Leu, Ile), aliphatic hydroxy(Ser, Thr), aromatic(Tyr, Phe) 그리고 sulfur(Met) 등으로 구분된다.

연구지역에서의 아미노산 작용기단별 몰 %는 정점 A의 경우 aliphatic neutral이 49.2%로 가장 높았으며 aliphatic hydroxy (35.7%), acidic(8.1%), aromatic(4.6%), basic(2.4%)의 순으로 나타났다. 또한 정점 B, C의 경우도 몰 %는 aliphatic neutral 이 각각 52.0%과 51.3%로 가장 높았으며 aliphatic hydroxy, acidic 등의 순으로 나타났다(Fig. 5). 따라서 전 정점을 통하여 aliphatic neutral과 aliphatic hydroxy가 80% 이상을 차지하여 우점하였다. 그러나 아미노산들 중 sulfur를 갖고 있는 methionine과 aromatic group은 상대적으로 낮은 비율(<3% 이하)을 보였다. 수층별 몰 %는 glycine, alanine을 포함한 aliphatic neutral 이 전 수층에서 30% 이상을 차지하고 우점하였으며 각 수층별

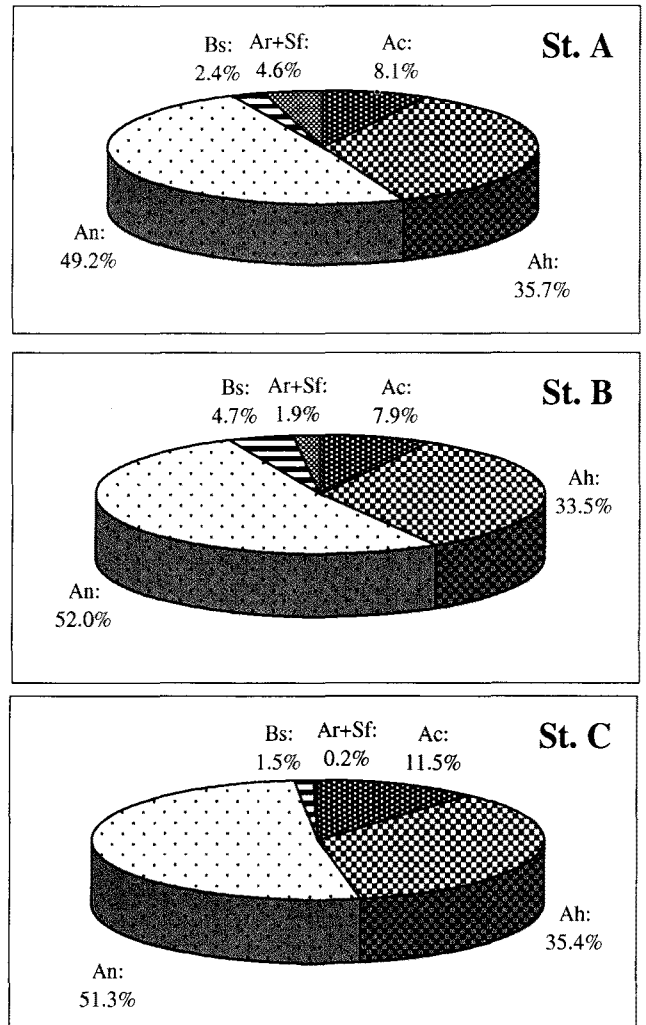


Fig. 5. Relative molar compositions of dissolved free amino acids in the study area (Ac: Acidic, Ah: Aliphatic hydroxy, An: Aliphatic neutral, Bs: Basic, Ar+Sf: Aromatic+Sulfur).

조성 비율 또한 정점별 조성 비율과 유사한 양상으로 나타났다(Fig. 6). 흥미로운 사실은 총 아미노산의 농도가 수층별로 유광층에서 높고 저층이 상대적으로 낮은 분포를 보이고 있으나, 그 조성 비율은 매우 유사하게 나타나고 있다는 것이다. 이러한 결과는 연구해역에서 각 아미노산들의 수용성 및 미생물에 의한 선택적 이용 등에 의한 것으로 사료된다.

아울러, 이상과 같은 분포는 aliphatic neutral의 경우 glycine과 alanine이 차지하는 비율이 높기 때문이며, aliphatic hydroxy의 경우는 serine의 높은 농도에 의하여 기인한 것으로 사료된다. Glycine, alanine 그리고 serine 등의 아미노산은 Sargasso Sea (Suttle et al., 1991), Greenland Sea(Hubberten et al., 1994), southern California 연안(Clark et al., 1972) 및 동해(Park et al., 1995)등의 연구에서도 가장 많은 비율을 차지하는 것으로 보고된 바 있으며 본 연구해역의 경우도 같은 결과를 보였다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 우점하는 아미노산에 대한 구체적 요인을 규명하는 것이 선행되어야 할 과제로 남아있다.

결과적으로 연구해역에서 용존 자유아미노산의 농도분포는 표층

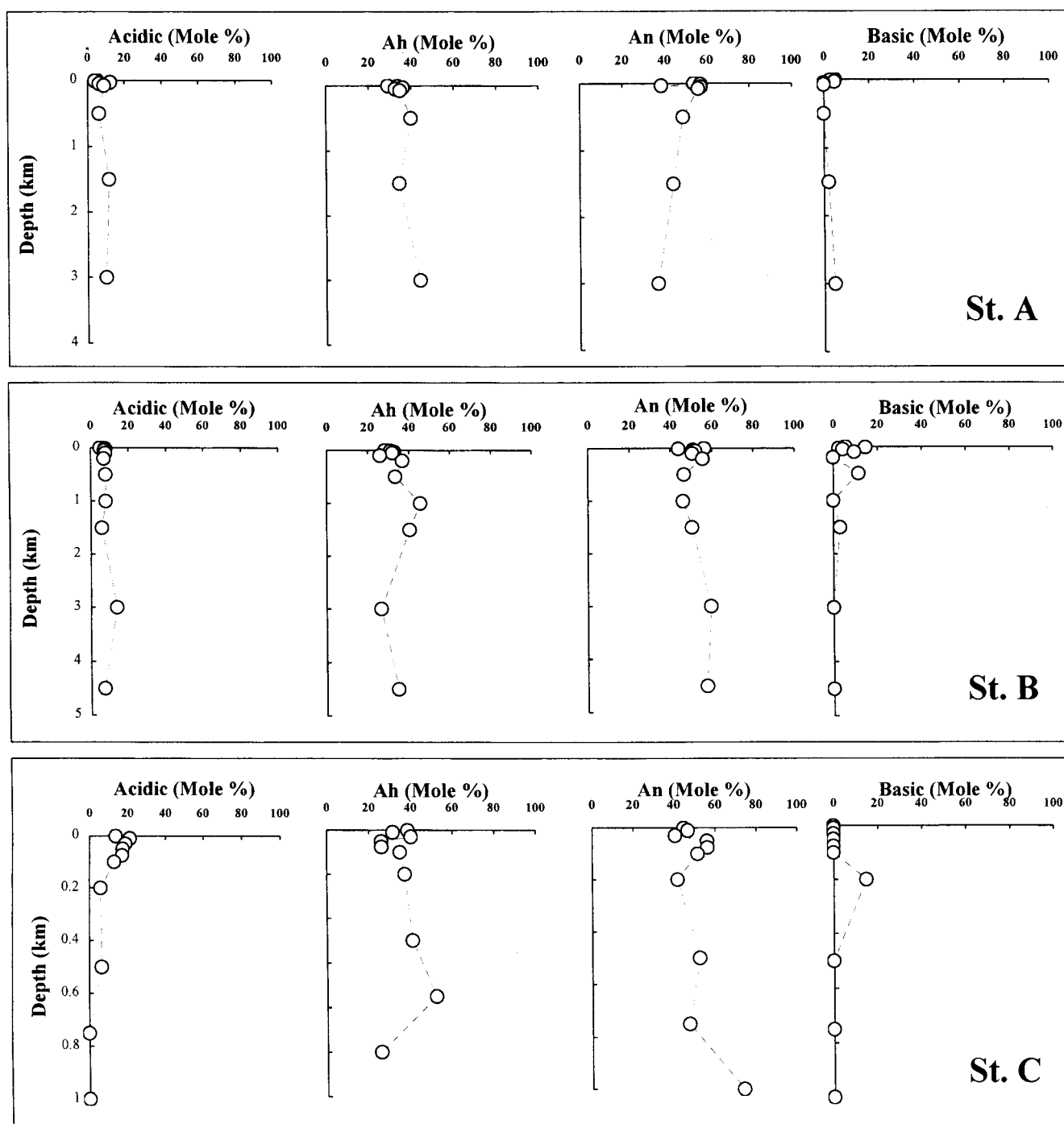


Fig. 6. Vertical profiles of relative molar compositions of dissolved free aminoacids in the study area (Ah: Aliphatic hydroxy, An: Aliphatic neutral).

혼합층과 최대농도를 포함하는 중층 그리고 저층까지 3부분으로 크게 구분된다. 영양염이 고갈되어 낮은 농도를 보이는 표층 혼합층은 표층이하 수심 약 50 m까지 수층으로서 수온이 높고 낮은 염분을 갖는 특성을 갖고 있다. 또한 표층 혼합층의 깊이는 위도에 따라 약간의 차이를 보이고 있는데 남쪽에 비해 북쪽의 정점 A가 다소 깊은 약 70 m의 수심을 보였다. 이 수층에서 용존 자유아미노산은 60.1~1411.9 nM 범위로 다소 산만하였으며 평균 535.2 nM을 보였다. 계절 수온약층이 형성된 수심 50

~150 m의 수층에서는 91.7~1778.2 nM 범위와 평균 588.5 nM의 값을 보였으며 최대치를 포함하고 있었다. 표층이하 150 m 사이의 다소 높은 농도는 유광층 내에서 생성된 입자유기물의 활발한 미생물 분해과정의 결과로 판단되며 이는 본 연구해역에서 Son and Park(1997)이 보고한 복합거대유기물인 형광유기물 중 생거대물질(biomacromolecule)의 급격한 감소를 보인 결과와도 잘 일치하고 있었다. 200 m이하 중층 및 저층까지는 15.9~384.2 nM 범위로 농도변화 폭이 작았으며 평균 175.1 nM 값

으로 낮게 나타났다. 해수 중 용존 자유아미노산은 전체 용존 유기물의 0.5% 이하로 비교적 낮은 비율을 차지하고 있으나, 박테리아 대사와 성장에 필요한 탄소와 질소 공급의 20% 이상을 기여하며 순환과정이 빠른 것으로 밝혀진 바 있다(Fuhrman and Ferguson, 1986; Fuhrman, 1990; Suttle *et al.*, 1991). 또한 해양의 용존 자유아미노산 농도는 일부 연안을 제외하면 2 μM 이하의 범위로 보고되며(North, 1975), 기초생산력 및 미생물 활성도, 생물 종조성 등에 따라 다양한 조성의 변화를 보인다(Lee, 1988; Braven *et al.*, 1995).

한편 대양의 대표적 환경 특징을 갖는 태평양의 경우 아미노산의 농도는 수괴내의 유기물 생성 및 소비에 따른 순환 과정 속에 일정 농도비를 유지하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 연구해역에서 망간단괴 채광시 방출될 퇴적물 내의 공극수는 최대 8.2 μM 의 농도를 갖고 있으며(노, 1996) 용존 자유아미노산의 공급원인 복합유기물(Ferguson and Sunda, 1984) 또한 상당량 함유하고 있다. 따라서 고농도의 복합유기물 유입시 연구해역은 생물군 및 아미노산 조성 등의 환경 변화가 예상되며, 이에 대한 구체적인 연구가 선행되어야 할 것으로 사료된다.

결 론

본 연구는 북동태평양에서 HPLC를 이용 용존 자유아미노산의 조성을 연구하였다. 용존 자유아미노산의 농도는 15.9~1778.2 nM 범위로 계절 수온약층이 형성된 수심 50~150 m의 수층에서 평균 588.5 nM 값으로 최대치를 포함하고 있었으며 중층 및 저층에서는 평균 175.1 nM을 나타내었다. Glycine, alanine, glutamic acid, serine 그리고 valine 등이 전체 농도의 약 60% 이상을 차지하며 우점하였고, aliphatic neutral, aliphatic hydroxy, acidic의 순서로 나타났다. 아미노산 조성은 식물 플랑크톤의 방출, 죽은 세포의 분해, 복합 아미노산의 가수분해, 미생물에 의한 이용도 등 복합적 요인에 의해 결정되며 식물 플랑크톤 군집 조성과도 밀접한 관계를 갖는다. 따라서 앞으로 본 연구결과를 바탕으로 식물 플랑크톤 배양실험 등을 통하여 각 아미노산 조성의 직접적 원인을 규명한다면 차후에 수행될 채광에 따른 환경 모니터링연구의 중요한 자료로 제시될 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 '96 심해저 광물자원탐사 과제(해양수산부)의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다. 시료채취에 도움을 주신 온누리호 선장님 이하 전 승조원 분들과 현장에서 도움을 준 박준건군에게 감사드립니다. 아울러 본 논문을 심사하여 주신 익명의 심사위원 두 분께 감사드립니다.

참고문헌

김문구, 1998. 한국 동해 극전선 해역의 생지화학적 특성 연구. 인태대학교 석사학위논문, 111 pp.
노태근, 1996. 북동 태평양 KODOS 94-2지역 공극수 아미노산의 생지화학적 특성. 부산대학교 석사학위 논문, 78 pp.

해양수산부, 1996. '96 심해저 광물자원탐사 보고서 I. 정밀탐사 및 환경연구. 해양수산부, 954 pp.
해양수산부, 1997. '97 심해저 광물자원탐사 보고서 I. 정밀탐사 및 환경연구. 해양수산부, 843 pp.
Barrett, G.C., 1985. Chemistry and Biochemistry of the Amino Acids. Chapman and Hall, London, 684 pp.
Bowden, K.F., 1975. Oceanic and estuarine mixing processes, In: Chemical Oceanography, edited by Riley, J.P. and G. Skirrow, 2nd, Academic Press Inc., London, 647 pp.
Braven, J., E.I. Butler, J. Chapman and R. Evens, 1995. Changes in dissolved free amino acid composition in sea water associated with phytoplankton populations. *Sci. Total Environ.*, **172**: 145-150.
Broecker, W.S., 1974. Chemical Oceanography. Harcourt Brace Jovanovich, Inc., New York, 214 pp.
Carlucci, A.F., D.B. Craven and S.M. Henrichs, 1984. Diel production and microheterotrophic utilization of dissolved free amino acids in waters off Southern California. *Appl. Environ. Microbiol.*, **48**: 165-170.
Cho, B.C. and F. Azam, 1988. Major role of bacteria in biogeochemical fluxes in the ocean's interior. *Nature*, **332**(31): 441-443.
Chrost, R.H. and M.A. Faust, 1983. Organic carbon release by phytoplankton: Its composition and utilization by bacterioplankton. *J. Pl. Res.*, **5**: 477-493.
Clark, M.E., G.A. Jackson and W.J. North, 1972. Dissolved free amino acids in southern California coastal waters. *Limnol. Oceanogr.*, **17**: 749-758.
Covey, C.B. and E.D.S. Corner, 1966. The amino-acid composition of certain unicellular algae, and of the faecal pellets produced by *Calanus finmarchicus* when feeding on them. In: Some Contemporary Studies in Marine Science, edited by Barnes, H., George Allen & Unwin, London, pp. 225-231.
Ferguson, R.L. and W.G. Sunda, 1984. Utilization of amino acids by planktonic marine bacteria: Importance of clean technique and low substrate additions. *Limnol. Oceanogr.*, **29**: 258-274.
Fuhrman, J.A. and R.L. Ferguson, 1986. Nanomolar concentrations and rapid turnover of dissolved free amino acids in seawater: Agreement between chemical and microbiological measurement. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **33**: 237-242.
Fuhrman, J.A., 1990. Dissolved free amino acid cycling in an estuarine outflow plume. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **66**: 197-203.
Gardner, W.S. and W.H. Miller, 1980. Reverse-phase liquid chromatographic analysis of amino acids after reaction with o-phthalaldehyde. *Anal. Biochem.*, **101**: 61-65.
Gardner, W.S., 1978. Sensitive fluorometric procedure to determine individual amino acids in the marine waters. *Mar. Chem.*, **6**: 15-26.
Garrasi, C., E.T. Degens and K. Mopper, 1979. The free amino acid composition of seawater obtained without desalting and pre-concentration. *Mar. Chem.*, **8**: 71-85.
Goyet, C. and E.T. Peltzer, 1994. Comparison of August-September 1991 and 1979 surface partial pressure of CO₂ distribution in the equatorial Pacific Ocean near 150°W. *Mar. Chem.*, **45**: 257-266.
Hill, D.W., F.H. Walters, T.D. Wilson and J.D. Stuart, 1979. High performance liquid chromatographic determination of amino

- acids in the picomole range. *Anal. Chem.*, **51**: 1338–1341.
- Hubberten, U., R.J. Lara and G. Kattner, 1994. Amino acid composition of seawater and dissolved humic substances in the Greenland Sea. *Mar. Chem.*, **45**: 121–128.
- Johnson, E.L. and R. Stevenson, 1978. Basic Liquid Chromatography. Varian Associates, Inc., California, 354 pp.
- Lee, C. and J.L. Bada, 1977. Dissolved amino acids in the equatorial Pacific, the Sargasso Sea, and Biscayne Bay. *Limnol. Oceanogr.*, **22**: 502–510.
- Lee, C., 1988. Amino acid and amine biogeochemistry in marine particulate material and sediments. In: Nitrogen Cycling in Coastal Marine Environments, edited by Blackburn, T.H. and J. Sorensen, John Wiley & Sons, New York, pp. 125–141.
- Lindroth, P. and K. Mooper, 1979. High performance liquid chromatographic determination of subpicomole amounts of amino acids by precolumn fluorescence derivatization with o-phthalaldehyde. *Anal. Chem.*, **51**: 1667–1674.
- Mopper, K. and P. Lindroth, 1982. Diel and depth variations in dissolved free amino acids and ammonium in the Baltic Sea determined by shipboard HPLC analysis. *Limnol. Oceanogr.*, **27**: 336–347.
- Murray, J.W., E. Johnson and C. Garside, 1995. A U.S. JGOFS process study in the equatorial Pacific (EqPac): Introduction. *Deep-Sea Res.*, **42**: 275–293.
- North, B.B., 1975. Primary amines in California coastal waters: Utilization by phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, **20**: 20–27.
- Park, Y. C., C. H. Yoon and K. H. Chung, 1994. Amino Acid Composition and Characteristic of Dissolved Organic Compounds in the Yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **29**: 171–182.
- Park, Y.C., S.K. Son, K.H. Chung and K.H. Kim, 1995. Characteristics of fluorescent organic matter and amino acids composition in the East Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **30**: 341–354.
- Parsons, T.R., M. Takahashi and B. Hargrave, 1984. Biological Oceanographic Processes. Pergamon Press, Oxford, 330 pp.
- Sharp, J.H., R. Benner, L. Bennett, C.A. Carlson, S.E. Fitzwater, E.T. Peltzer and L.M. Tupas, 1995. Analyses of dissolved organic carbon in seawater: the JGOFS EqPac methods comparison. *Mar. Chem.*, **48**: 91–108.
- Son, S.K. and Y.C. Park, 1997. Environmental characteristics of nutrients and fluorescent organic matters in the Northeast Pacific Ocean (KODOS). *J. Korean Environ. Sci. Soc.*, **6**: 595–604.
- Suttle, C.A., A.M. Chan and J.A. Fuhrman, 1991. Dissolved free amino acids in the Sargasso Sea: uptake and respiration rates, turnover times, and concentrations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **70**: 189–199.
- Tanoue, E., 1993. Distributional characteristics of DOC in the central equatorial Pacific. *J. Oceanogr.*, **49**: 625–639.
- Wenck A., L. Mintrop and J.C. Duinker, 1991. Automated determination of amino acids in seawater. *Mar. Chem.*, **33**: 1–7.
- Wheeler, P.A., B.B. North and G.C. Stephens, 1974. Amino acid uptake by marine phytoplankters. *Limnol. Oceanogr.*, **19**: 249–259.
- Williams, P.J. leB., 1975. Biological and chemical aspects of dissolved organic material in sea water, In: Chemical Oceanography, edited by Riley, J.P. and G. Skirrow, Vol. 2, Academic Press Inc., London, pp. 301–363.
- Williams, P.M. and E.M. Druffel, 1987. Radiocarbon in the dissolved organic matter in the central north Pacific Ocean. *Nature*, **330**: 246–248.

1999년 1월 18일 원고 접수

1999년 8월 20일 수정본 채택