

1996년 여름철 남해 표층수의 이상저염수 현상과 영양염류의 분포특성

김성수 · 고우진 · 조영조 · 이필용¹ · 전경암
국립수산진흥원 남해수산연구소 어업자원과, ¹국립수산진흥원 적조공학과

Low Salinity Anomaly and Nutrient Distribution at Surface Waters of the South Sea of Korea during 1996 Summer

SEONG SOO KIM, WOO-JIN GO, YEONG-JO JO, PIL-YONG LEE¹ AND KYEONG-AM JEON
Fisheries Resources Division, South Sea Regional Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Yosu 550-120, Korea

¹*Harmful Algal Blooms Engineering Division, National Fisheries Research and Development Institute, Pusan 619-900, Korea*

1996년 8월 1일부터 10일까지 남해 해양조사에서 얻어진 자료를 이용하여 우리나라 남해 표층의 저염화현상과 표층수 중 영양염류의 분포특성에 대해 고찰하였다. 제주도 서쪽에 위치한 313선의 05점과 제주도 남쪽에 위치한 314선의 09점에서 20.00 psu 이하의 저염수가 출현하고 있으며, 이 저염수의 핵을 중심으로 30.00 psu 이하의 저염수가 남해 동부해역을 제외한 제주도 주변 대부분의 해역들에 나타나고 있다. 이러한 저염수의 최저염분 농도는 과거 30년 동안의 평균값보다 11.78 psu 낮은 값으로서 이는 양자강 유역에서 6월과 7월에 평년보다 훨씬 많은 강수량에 의해 막대한 양의 담수가 유출되었기 때문이라고 생각된다. 또한, 이러한 저염수는 대체적으로 수심 10~20 m 상부층에 존재하고 있어서 중·저층수와는 확실히 구분되고 있다. 표층수 중 영양염류는 인산인의 경우 농도가 비교적 낮고, 해역별 차이도 매우 작았다. 그러나, 질산질소와 규산규소는 저염수가 분포하고 있는 제주도 서쪽 및 남서쪽 해역에서 비교적 높은 농도를 보이며, 특히 염분농도가 가장 낮은 정점에서 농도가 가장 높았다. 질산질소와 규산규소의 경우 보존성 성분인 염분과 역의 상관성을 보이는데, 이는 양자강 유출수와 같이 영양염류 농도가 풍부한 물이 제주도 서쪽 해역으로 이동되어 왔음을 의미한다. 그러나, 인산인이 다른 영양염류 성분과는 달리 염분의 큰 변동에도 불구하고 농도 변화가 거의 일정한 것은 해수중의 물질순환과정이 질산질소 및 규산규소와는 다름을 의미한다.

In August 1996, seawater salinity and nutrient distribution were investigated at surface waters in the South Sea of Korea. The low-salinity (< 20.00 psu) waters were observed in the western and southwestern offshore areas of Cheju Island. Relatively low saline (< 30.0 psu) waters occupied most of the survey areas only except in the eastern part. The observed minimum salinity was lower by 11.78 psu than that of the average between 1963 and 1995. The low saline waters appeared in the upper layer of generally 10—20 m deep, and were obviously distinguished from high-salinity (> 32.00 psu) waters, 30 m deep. The low saline waters may originate from the freshwater discharge of vast amount of from Yangtze River during the heavy rainfall season in China. Phosphate concentrations in the surface waters were relatively low and were less variable than those of nitrate and silicate. The maximum concentrations of nitrate and silicate occurred in the western and southwestern offshore areas of Cheju Island, where the salinities were the lowest. The concentrations of nitrate and silicate were inversely correlated with salinity, whereas that of phosphate showed a considerable scatter and non-conservative behaviours. This indicates extensive desorption reactions of suspended materials releasing phosphate.

서 론

우리나라 남해는 수심 200 m 내외의 전형적인 대륙붕역으로 다양한 생물자원이 서식하고 있어 우리나라 연근해어업상 매우 중요한 해역이다. 따라서, 이 해역에 대한 해양학적 연구는 어

장환경의 보존과 수산자원 증대의 측면에서 매우 중요하다.

남해는 황해, 동중국해 및 동해와 인접하고 있어서 그 주변해역의 해황은 매우 복잡하고, 시공간적 변화도 매우 심하다(강, 1974; Lim, 1976). 이를테면, 고온 고염의 대마난류수가 제주도 동남쪽 해역을 거쳐 대한해협으로 흐르는 반면에, 그 지류인 황

해난류는 제주도 남쪽 및 서쪽 연안을 우회한다(Kim and Lee, 1982). 그리고, 서해 중앙부에서 겨울철에 형성된 황해저층냉수는 계절수온약층의 하부를 따라 제주도 남서쪽해역까지 남하한다(Nakao, 1977; Park, 1986). 특히, 여름철에는 양자강 등 중국대륙연안에 위치한 큰 하천으로부터 막대한 양의 하천수가 유입되어 저염의 중국대륙연안수가 형성되고, 이 저염수는 동중국해를 거쳐 우리나라 쪽으로 확장해 오기 때문에 제주도 주변해역은 물론 우리나라 남해 및 동해 남부해역까지 저염화 현상을 나타낸다(강, 1974; 김 등, 1991; 김과 노, 1994).

지금까지 남해에 출현하는 수괴들의 물리적 특성과 해수의 유동확산과정에 대해서는 상세히 알려져 있다(Uda, 1936; Yu *et al.*, 1983; 김 등, 1991; 김과 노, 1994). 그러나, 해수중 기초생산관련 화학성분들의 분포특성에 관한 연구는 극히 적으며, 한국해양연구소(1986)에서 한국해역 해양자원도 작성을 위해 실시한 연구에서 영양염류 및 클로로필 *a*의 조사결과를 보고한 바 있다. Chung and Yang(1991)은 한국남해역의 일차생산력을 조사하고 남해의 일차생산력은 전선구조와 밀접한 관계를 보이며, 중국대륙연안수의 영향을 받는 해역에서는 탁도에 의한 투과광량의 감소로 일차생산력이 낮았다고 보고하였다. 또한, Yang and Kim(1990)은 여름철 제주도 주변해역 표층수의 클로로필과 영양염류의 지리적 분포특성과 농도를 지배하는 물리적과정에 대해 상세히 고찰한 바 있다. 이들 보고에 의하면, 제주도 서쪽 외해역에서 클로로필과 영양염류의 농도가 비교적 높은 것은 중국대륙연안수의 확장 때문이라고 설명하고 있다. 이는 중국대륙연안수의 형성에 가장 큰 영향을 미치는 양자강과 황하강수의 배출량 변동에 따라 우리나라 주변해역의 표층수중 기초생산관련 화학성분들의 농도 역시 현저히 달라질 수 있음을 알 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 평년에 비해 표층수의 염분 농도가 현저히 낮은 1996년 여름철의 자료를 이용하여 우리나라 남해 표층수의 저염화 현상과 기초생산 관련 화학성분들의 농도분포 변화특성을 살펴보고자 한다.

재료 및 방법

1996년 8월 1일부터 8월 10일까지 국립수산진흥원 남해수산연구소 시험조사선 전남 881호를 이용하여 총 56개 정선관측정

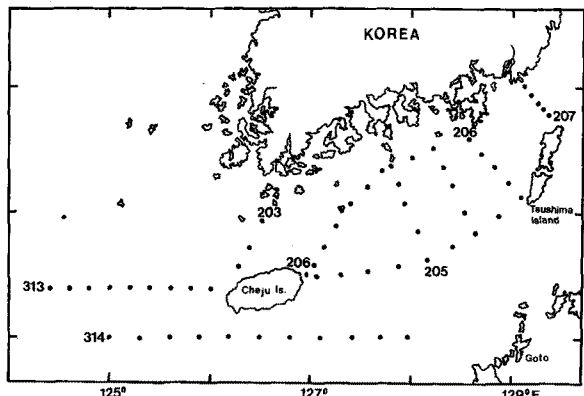


Fig. 1. Locations of oceanographic stations in the South Sea of Korea.

점에서 표준수심별로 조사하였다(Fig. 1). 수온과 염분은 CTD (Model SBE 25)로 측정하였으며, 영양염류 분석용 시료는 난센 채수기로 직접(총 28 개 정점)에서 채수 후 멤브레인 여과지(membrane filter paper)(공경 0.45 μm)로 여과한 다음 급속냉동 보관하였다. 염분의 평년편차는 국립수산진흥원 정선해양관측 자료(1963~1993년)를 이용하였다.

영양염류중 인산인은 몰리브덴산(ammonium molybdate)과 아스코르빌산(ascorbic acid)을 이용한 몰리브덴청법으로, 질산질소는 구리-카드뮴 환원칼럼(Cu-Cd reduction column)을 이용한 아질산환원법, 규산규소는 몰리브덴청법으로 비색정량(Strickland and Parsons, 1972) 하였다.

결과 및 고찰

저염수의 분포특성

여름철 남해 표층에 출현하는 각종 수괴들의 지리적 분포양상을 파악하기 위하여 표층의 수온과 염분의 수평분포도를 Figs. 2, 3에 나타내었다.

수온(Fig. 2)은 제주도 북쪽에 위치한 203선의 01점에서 24.01°C로 가장 낮았으며, 거문도 주변 정점들을 포함한 남해안 연안에 인접한 정점들에서 26.00°C 이하로 외해역에 비해 상대적으로 낮은 수온을 보인다. 특히, 남해 동부 연안해역에 분포하고 있는 저온수는 제주도과 대마도를 잇는 선상에 나타나는 29.00°C 이상의 고온수와 사이에 약한 수온전선을 형성하고 있다. 또한, 제주도 서쪽 및 남쪽 해역에서는 29.00~30.51°C 범위의 고온수가 존재하고 있다.

염분(Fig. 3)은 제주도 서쪽 및 남서쪽 외해역에 위치한 313선의 05점과 314선의 09점에서 각각 18.97 psu 및 19.56 psu로 조사해역중 가장 낮은 값을 보인다. 그리고, 이들 정점을 중심으로 제주도 주변 대부분의 해역이 30.00 psu 이하의 저염수가 존재하고 있다. 그러나, 외해역에 비해 상대적으로 수온이 낮은 남해안 연안쪽에 위치한 정점들에서는 32.20 psu 이상의 상대적으로 고염수가 존재하고 있다. 한편, 김과 노(1994)는 제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수의 지표염분을 32.20 psu 이하의 저염수로 정의한 바 있으며, Limeburner *et al.*(1983)과 Yu *et al.*(1983)은 양자강 하구역 및 그 주변해역에서 각각 30.00 psu 및

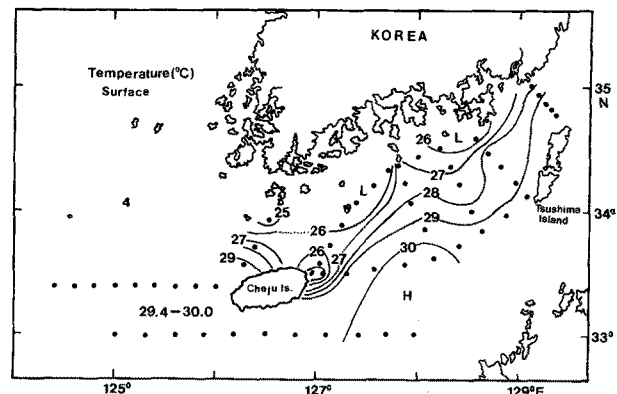


Fig. 2. Horizontal distribution of sea surface temperature (°C) at surface in August, 1996.

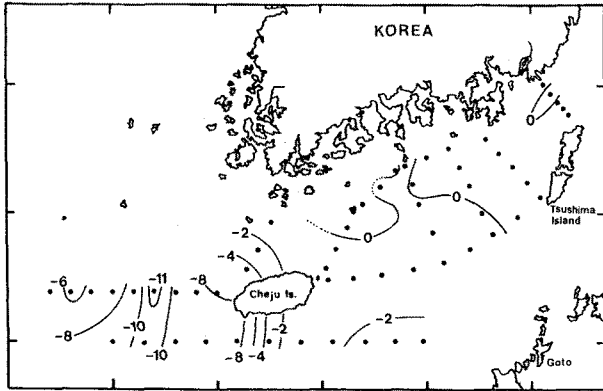


Fig. 3. Horizontal distribution of salinity at surface in August, 1996.

31.50 psu 이하의 저염수를 중국대륙연안수라고 보고한 바 있다. 또한, 김 등(1991)은 황해의 남동해역에 대한 자료를 분석하고 제주도 서쪽 해역에 출현하는 표층 저염수는 양자강유출수에서 기원되었음을 보고한 바 있다. 따라서, 남해 동부 연안역에 위치한 몇 개의 정점들을 제외한 대부분의 해역이 양자강 유출수의 영향을 받고 있으며, 그 주류역은 제주도 서쪽 외해역으로 판단된다. 특히, 제주도 서쪽 해역에서는 25.00 psu 이하의 저염수가 나타나고 있으며, 이 저염수의 최저염분 농도가 18.97 psu로 주변 해수에 비해 현저히 낮은 농도를 보이는 것은 양자강 하구 주변해역의 연안수가 크게 변질되지 않고 제주도 주변해역으로 이동해 온 것으로 판단된다. 또한, 30년(1963~1993년) 동안의 염분 평균값과 1996년도 관측한 염분농도와 차이(Fig. 4)는 제주도와 대마도 사이의 해역을 포함한 제주도 북동쪽 해역에서는 평년과 거의 비슷하거나 약간 낮은 값을 보인 반면에, 제주도 서쪽 해역에서는 4.95~11.78 psu의 범위로 평년보다 현저히 낮은 값을 보였다. 또한, 1996년 양자강 유역의 강수량(中國氣象局國家氣候中心, 1996)은 6월이 260 mm, 7월이 317 mm로 과거 30년(1961~1990년) 동안의 평균 강수량보다 6월이 104 mm, 7월이 189 mm 정도의 더 많은 비가 내렸으나, 8월에는 평년 강수량보다 52 mm 정도 적게 내렸다. 따라서, 1996년에 제주도 서쪽 해역의 표층에 염분 농도가 매우 낮은 것은 양자강(연간 담수유출량: $930 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$)에서 일시적으로 대량의 담수가

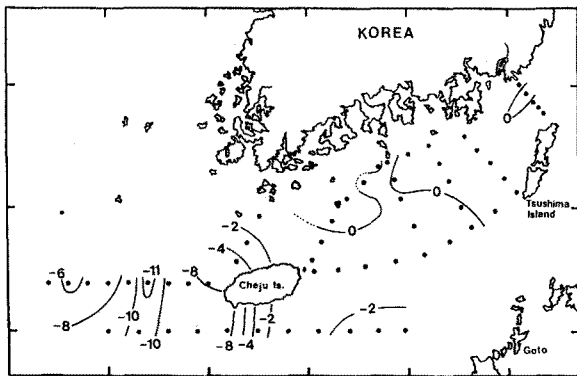


Fig. 4. Horizontal distribution of salinity anomalies at surface in August, 1996.

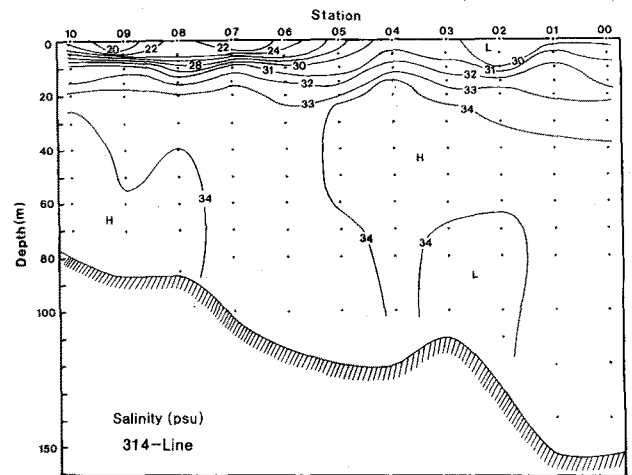
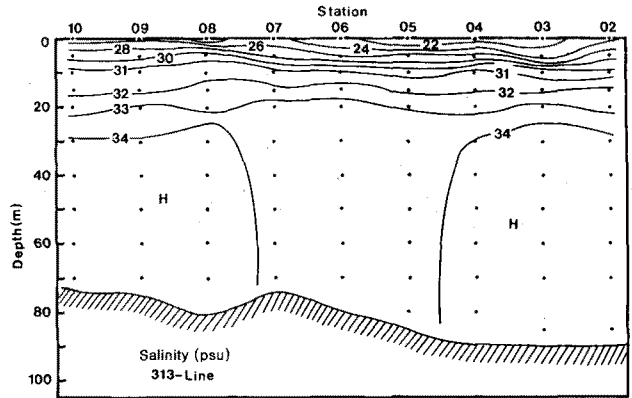


Fig. 5. Vertical distribution of salinity along Lines 313 and 314 in August, 1996.

유출되었기 때문이라고 생각된다(Nagaya and Nakamura, 1992).

한편, 제주도 서쪽 해역에 나타나는 저염수의 두께를 파악하기 위하여 표층수중 염분 농도가 가장 낮았던 313선과 314선에 대한 염분의 수직분포도를 Fig. 5에 나타내었다. 중국대륙연안수의 지표염분을 김과 노(1994)가 제시한 32.20 psu로 하였을 경우 314선에서는 32.20 psu의 등염분선이 정점에 따라 다소의 차이가 있으나, 대체적으로 수심 10~20 m 사이의 층에 존재하고 있다. 특히, 10 m 상부층의 경우 제주도 남서쪽 해역에 위치한 06점에서 10점 사이의 해역에서는 24.00 psu 이하의 저염수가 존재하고 있으나, 제주도 정남쪽 및 남동쪽의 정점들에서는 29.31 psu 이상의 상대적 고염수가 존재하고 있다. 313선 역시 염분농도 32.20 psu 등염분선의 존재수심이 314선과 비슷하였으며, 24.00 psu의 등염분선이 5 m 층에 나타나고 있다. 이러한 저염수는 30 m 하부층에 존재하고 있는 상대적 고염수와 사이에 강한 염분약층을 형성하고 있다. 따라서, 본 연구에서 관측된 32.20 psu의 등염분선의 존재수심이 김과 노(1990)가 1965년부터 1984년까지의 자료를 정리하여 보고한 중국대륙연안수 평균 두께인 25 m보다 훨씬 상부층에 나타나고 있다.

영양염류의 농도분포 특성

영양염류중 규산규소와 질산질소의 표층 수평분포(Fig. 6)를

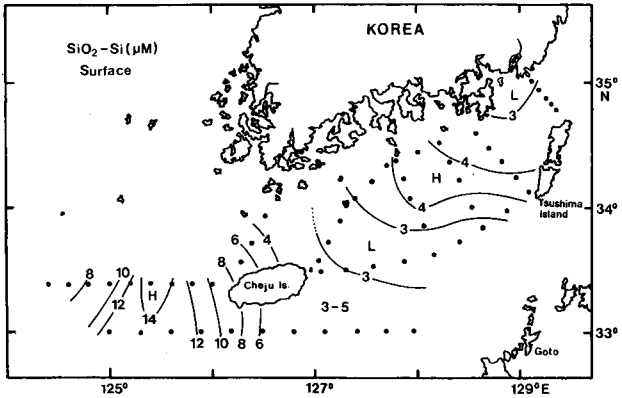


Fig. 6. Horizontal distribution of silicate at surface in August, 1996.

보면, 규산규소의 경우 염분 농도 29.00 psu 이하의 저염수가 나타나는 제주도 서쪽 외해역에서는 4.0~14.3 μM 범위의 비교적 높은 농도를 보였으며, 제주도 동북쪽 해역에서 가장 낮았다. 질산질소 역시 규산규소와 매우 비슷한 농도분포 양상을 보이나, 남해안 연안쪽 정점들에서 다소 낮아지는 경향을 보인다. 반면에, 인산인은 다른 영양염류 성분들과는 달리 남해안 연안쪽에 위치한 몇몇 정점들에서 다소 높은 농도를 보이는 것을 제외하면 농도가 비교적 낮고 해역별 분포양상도 뚜렷하지 않았다.

제주도 서쪽과 남쪽에 위치한 313선과 314선에 대한 규산규소의 수직농도분포를 Fig. 7에 나타내었다. 313선의 경우 염분 농도가 24.00 psu 이하의 저염수가 나타나는 표층수중 규산규소의 농도는 6.0 μM 이상의 높은 농도를 보이고 있으나, 그 바로 하부층인 10~20 m 사이의 층에서는 최소값을 보인 후 수심이 깊어짐에 따라 점차 증가하는 경향을 보인다. 이러한 경향은 314선에서도 비슷한 수직농도분포 양상을 보이며, 질산질소 역시 규산규소와 동일한 분포양상을 보인다. 이처럼, 아표층(10~20 m)에서 규산규소와 질산질소의 농도가 최소값을 보이는 것은 이 층에서 플랑크톤에 의해 이들 영양염이 많이 소비되었다기 보다는 극표층에 영양염의 농도가 높은 저염수가 유입되었기 때문이라고 생각된다.

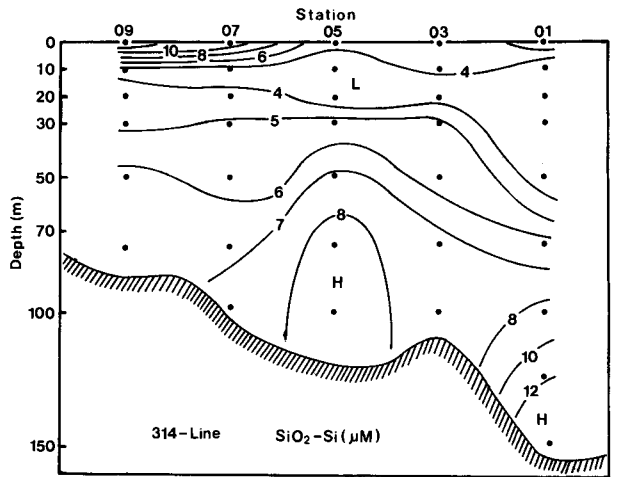
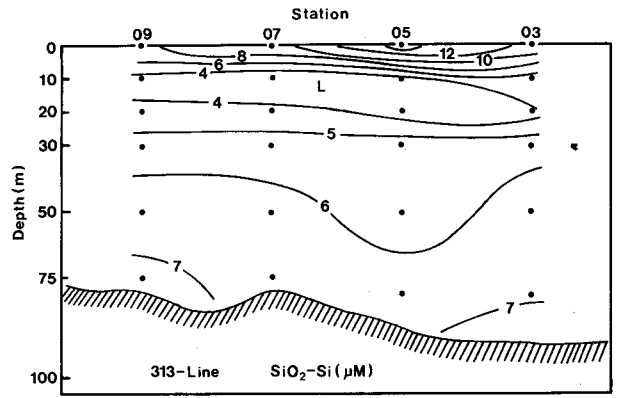


Fig. 7. Vertical distribution of silicate along Lines 313 and 314 in August, 1996.

한편, 표층수중 영양염류의 해역별 농도분포 요인을 파악하기 위하여 보존성 성분인 염분농도에 대해 규산규소, 질산질소 및 인산인의 농도를 plot하였다(Fig. 8). 규산규소과 질산질소의 경우 염분 농도 29.00 psu 이하에서는 염분에 대해 거의 직선적인 역의 관계를 보이며, 두 성분 사이의 직선식은 $\text{SiO}_2\text{-Si}(\mu\text{M}) = -1.05 \text{ salinity}(\text{psu}) + 34.2$ 및 $\text{NO}_3\text{-N}(\mu\text{M}) = -1.51 \text{ salinity}(\text{psu}) + 49.0$

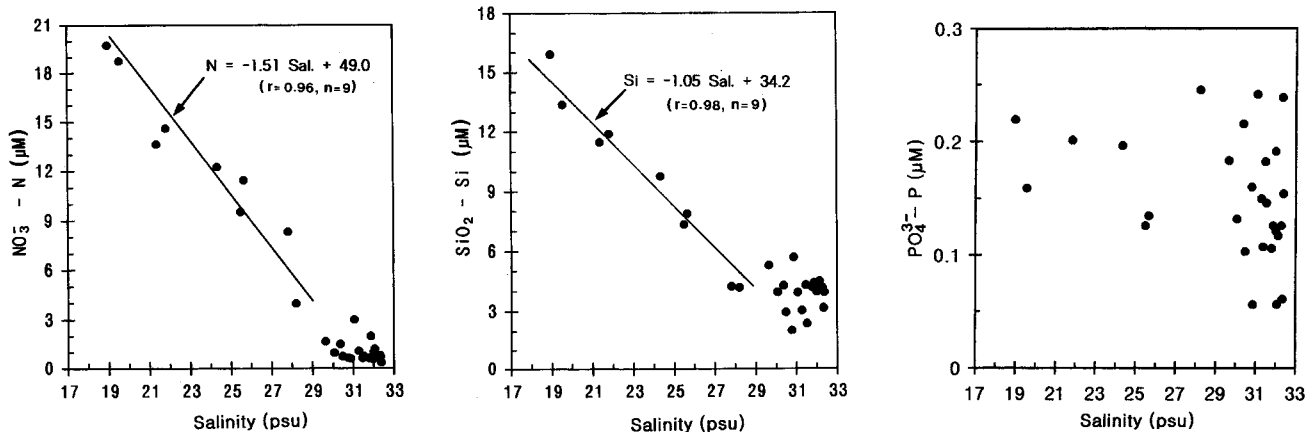


Fig. 8. Plots of nitrate, silicate and phosphate versus salinity.

+49.0으로 나타낼 수 있다. 이처럼 영양염류 두 성분이 염분에 대해 역의 상관성을 보이는 것은 양자강과 같이 큰 하천들로부터 일시에 대량의 하천수가 유입된 후 제주도 서쪽해역으로 이동되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한 위 두 식에서 규산규소 및 질산질소의 절편값 34.2 μ M과 49.0 μ M은 Edmond *et al.* (1985)이 양자강 하구역에서 염분과 영양염류와의 상관관계식 으로부터 구한 절편값인 100 μ M 및 65 μ M 보다 현저히 작은 값을 보인다. 이와같이, 규산규소과 질산질소의 절편값이 양자강 하구역에서 구한 값 보다 작은 것은 영양염류가 풍부한 저염수가 제주도 서쪽해역으로 이동되는 사이에 식물플랑크톤에 의한 영양염류의 소비 때문이라고 판단된다. 특히, 규산규소의 절편값이 양자강 하구역에 비해 현저히 낮은 것은 대륙붕역에 풍부한 규조류에 의해 질산질소 보다 규산규소가 효과적으로 소비되었기 때문이라고 생각된다(Edmond *et al.*, 1985). 그러나, 인산인은 다른 영양염류 성분과는 달리 해역별 차이가 매우 작으며, 염분농도의 큰 변화에도 불구하고 비교적 일정한 농도를 보인다. 이는 인산인이 규산규소 및 질산질소와는 다른 물질순환 과정에 의해 그 농도가 결정되고 있음을 의미한다. 이러한 현상은 콩고강(Bennekom *et al.*, 1978), 아마존강(Chase and Sayles, 1980; Edmond *et al.*, 1981) 및 양자강(Edmond *et al.*, 1985) 등 큰 하천의 하구역에서 자주 나타난다. 그 원인으로는 인산인이 수화철에 의한 제거, 현탁물질에 의한 흡착 및 탈착 그리고 환경변화(수온, 염분 및 산화환원상태 등)에 따른 흡착·탈착능의 차이 등이 알려져 있다(Tanaka and Hamada, 1987). 또한, Edmond *et al.*(1985)은 양자강 하구역에서 염분농도와 관계없이 인산염의 농도가 거의 일정하게 나타나는 것은 현탁물질에 의한 흡착·탈착 평형에 기인했기 때문이라고 설명하고 있다.

사 사

본 연구는 국립수산진흥원의 시험조사연구사업비에 의해 수행되었으며, 현장조사시 고락을 함께하며 협조하여 주신 국립수산진흥원 시험조사선 탐구 3호 직원 여러분께 감사드립니다. 그리고 중국 양자강유역 강수량자료를 수집하여 주신 국립수산진흥원 남해수산연구소 정성채 전소장님과 증식과 조용철 과장님께 감사드리며, 본 논문의 원고를 세심하게 검토하여 주신 두분의 심사위원께 감사드립니다.

참고문헌

강철중, 1974. 한국남해안 연안수의 계절변동에 관한 연구. 국립수산진흥원 연구보고, **12**: 107—121.
 김 구, 노홍길, 이상호, 1991. 하계 제주도 주변해역의 수계 및 해수순환. 한국해양학회지, **26**: 262—277.
 김인옥, 노홍길, 1994. 제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구. 한국수산학회지, **27**: 515—528.
 한국해양연구소, 1988. 한국해역 종합자원도 작성연구-남해(2차년도). BSPG00062-200-7, 385 pp.
 中國氣象局國家氣候中心, 1996. 月氣候監測公報. 北京, 47 pp.
 Bennekom, A.J. van, A.W. Berger, H. Helder and R.T.P. De Vries, 1978. Nutrient distribution in the Zaire estuary and

river plume. *Neth. J. Sea Res.*, **12**: 296—323.
 Chase, E.M. and F.L. Sayles, 1980. Phosphorous in suspended sediments of the Amazon River. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, **11**: 383—393.
 Chung, C.S. and D.B. Yang, 1991. On the primary productivity in the southern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **26**: 242—254.
 Edmond, J.M., A. Spivack, B.C. Grant, Hu Ming-Hui, C. Zexiam, C. Sung and Z. Xiushau, 1985. Chemical dynamics of the Changjiang estuary. *Cont. Shelf Res.*, **4**: 17—36.
 Edmond, J.M., E.A. Boyle, B. Grant and R.F. Stallard, 1981. Chemical mass balance in the Amazon plume. 1. The nutrients. *Deep-Sea Res.*, **28**: 1339—1374.
 Kim, K. and S.H. Lee, 1982. Vertical homogeneous water along the west coast of Jeju Island. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **17**: 59—68.
 Lim, D.B., 1976. The movement of the waters off the south coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **11**: 77—88.
 Limeburner, R., R.C. Beardsley and J. Zhao, 1983. Water masses and circulation in the East China Sea. Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea, Hangzhou, April, pp. 261—269.
 Nagaya, Y. and K. Nakamura, 1992. ²³⁹, ²⁴⁰Pu and ¹³⁷Cs in the East China and the Yellow Seas. *J. Oceanogr.*, **48**: 23—35.
 Nakao, T., 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Fac. Mar. Sci. Tech. (Tokai University)*, November, pp. 190—367.
 Park, Y.H., 1986. Water characteristics and movement of the Yellow Sea Warm Current in summer. *Prog. Oceanogr.*, **17**: 243—254.
 Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1972. A Practical Handbook of Sea Water Analysis (2nd edn.). Bull. Fish. Res. Board Canada, Vol. 167, 310 pp.
 Tanaka, K. and S. Hamada, 1987. Investigations on nutrients in turbid estuaries: Buffering of phosphate concentration by suspended sediments. *Bull. Coast. Oceanogr.*, **24**: 125—133.
 Uda, M., 1936. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters during October and November, 1933. *J. Imp. Fish. Exp. St.*, **7**: 91—169.
 Yang, H.S. and S.S. Kim, 1990. A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea peninsula. 1. Physical processes influencing the surface distributions of chlorophyll and nutrient in the southern sea of Korea in summer. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **23**: 417—424.
 Yu, H., D. Zheng and J. Jiang, 1983. Basic hydrographic characteristics of the studied area. Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea. Hangzhou, April, pp. 270—279.

1998년 1월 8일 원고 접수

1998년 4월 16일 수정본 채택