

제주도 주변 용승역의 생물생태학적 기초연구 (I) - 제주도 남서부 연안해역의 해수화학적 특성과 용승현상

강태연 · *최영찬 · *고유봉
제주대학교 해양연구소 · *제주대학교 해양학과

Bioecological Studies in the Upwelling Area of Cheju Island. (I) - Upwelling Phenomenon and Chemical Properties of Seawater in the Southwestern Coastal Area of Cheju Island

Tae-Youn KANG, *Young-Chan CHOI and *You-Bong GO

Marine Research Institute Cheju National University, Cheju-do 695-810, Korea

*Department of Oceanography, Cheju National University, Cheju-do 690-756 Korea

Hydrographic conditions (temperature, salinity, dissolved oxygen), nutrients, chlorophyll-a and suspended solid have been studied in the southwestern coastal area of Cheju Island from April 1993 to March 1994.

Vertical profile of temperature, salinity and chemical properties (nutrients, chlorophyll-a) distribution in the southwestern sea of Cheju Island showed a upwelling feature. Although it was not clear in winter season, it seems to continued through out the year. In the surface water at the upwelling areas, the ranges of dissolved oxygen, nitrate, phosphate and silicate was 3.30~8.43 ml/l, 0~7.12 $\mu\text{g/l}$, 0.03~1.75 $\mu\text{g-at/l}$ and 2.75~22.32 $\mu\text{g-at/l}$, respectively. Nutrients was higher in the shore water than in the offshore water, because sufficient supply of nutrients from the bottom water by coastal upwelling. In November, especially high concentration silicate was observed at all the stations and depth in the study area. At all station of bottom water (down to the depth of 60 meter), concentration value of dissolved oxygen was as high as 8 ml/l.

Mean values of N/P was 8.0, lower than Redifield ratio of 16. The mean values of Si/P was observed to 46.3 in southwest of Cheju Island. Concentration of chlorophyll-a was in the range of 0.04~2.36 $\mu\text{g/l}$. Concentration of chlorophyll-a in surface water at all station was especially higher in spring than in other seasons.

Mean concentration value of suspended solids was 3.14 mg/l (0.75~8.47 mg/l). Ratio of the volatile suspended solids to the suspended solids was higher in the inshore water (53%) than in the offshore water (46%), and higher in the surface water than in the bottom water.

Key words : coastal upwelling, nutrients, chlorophyll-a, Redifield ratio, suspended solids

서 론

제주도 주변해역은 동중국해와 황해, 남해를 연결하는 해역으로 해양학적인 연구에 있어서 매우 좋은 지역이다. 이 해역은 주로 흑조에서 분기된 고온 고염의 대마난류수와 연안지방으로부터 흘러나오는 여러답수와 기상의 영향을 받아 형성된 양자강연안수

(Kim and Rho, 1994), 저온저염의 황해저층 냉수, 황해연안수, 남해연안수등의 연안수계가 영향을 받는 복잡한 양상을 보이고 있다 (Park, 1985, 1986a, b; Youn et al., 1991; Kim et al., 1991). 이 지역에 대한 보다 체계적인 연구는 Choi et al. (1991, 1992, 1993)에 의해 제주도 주변 해역을 동서남북의 연안역으로 구분하여 각 해역에 있어서의 이화학적 환경 및 생태학

적 특성이 부분적으로 밝혀졌다.

특히, 본 연구해역인 제주도 남서부역은 특정 계절과 성분의 조사를 통하여, Kim and Lee (1982)는 해류가 제주도를 시계 방향으로 선회하면서 용승이 발생한다고 지적하였고, Pang et al. (1992)은 해류가 수심의 다른 지역을 따라 흐르기 때문에 용승이 발생한다고 보고 하였다. 또한 이 해역은 여름철 저온저염의 황해저층냉수가 수온약층 직하부를 따라 제주 주변해역까지 남하한다는 보고 (Youn et al., 1991)와 양자강 하구에서 흘러나오는 중국 대륙연안수의 영향으로 하계의 연구지역의 표층을 저염화 시킨다는 보고 (Yang and Kim, 1990,1991)등 주류인 대만류수와 혼합되어 매우 복잡한 해황을 나타내는 지역으로 규정하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 1년동안 각 계절별 결월로 조사한 물리·화학적 다양한 성분의 자료를 가지고 이 해역의 용승을 밝히고자 하며, 용승이 있다면 계절별 변화와 형태는 어떻게 나타나고 있는지, 그리고, 물리·화학적 각 성분들 간의 상호관련성과 분포 특성이 제주도의 다른 해역과 어떤 차이를 보이고 있는지를 규명하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 시수는 제주도 남서방해역의 6개 정점을 선정 후 제주대학교 실습선 백경호와 아라 2호를 이용하여 1993년도 4월부터 1994년 3월까지 격월로 조사하였다 (Fig. 1). 각 정점별 채수 수심은 5 l Niskin 채수기를 이용하여 채수하였으며, 시료는 곧바로 실험실로 옮긴 다음 24시간 이내에 분석하였다.

수온, 염분, 용존산소는 현장에서 STD (SBE 19)를 이용하여 측정하였고, 각각 봉상수온온도계, 은적정법, Winkler법으로 측정하여 보정하였다. 영양염류 (NH_4^+-N , NO_2^--N , NO_3^--N , $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$, SiO_2-Si)는 Standard Method (APHA, AWWA, APCF, 1985)에 의한 방법으로 비색정량 하였다. 식물색소 (Chlorophyll a)는 시료 1 l를 GF/C로 여과하여 90% acetone 10 ml를 첨가하여 20시간 냉암소에 보관한 후 4000 rpm에서 10분간 원심분리 시켜 750 nm, 663 nm, 645 nm, 630 nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 SCOR/UNESCO식으로 계산하였다 (Strickland and Parsons, 1972). 또한

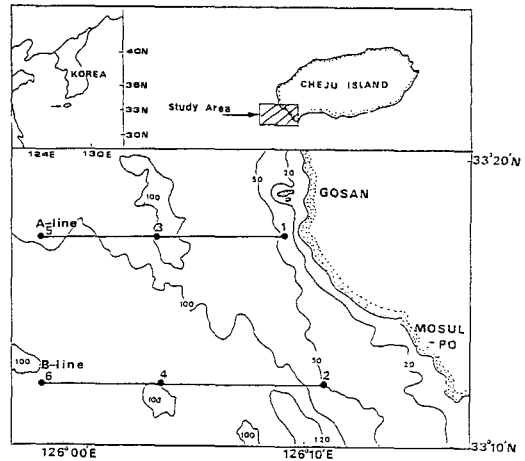


Fig. 1. Map of the study area off the southwestern coast of the Cheju Island, Korea. Six sampling stations are shown.

총부유물질 (TSS)은 시수 2 l를 GF/C로 여과하여 105°C에서 2시간 건조시킨 후 여과 전후의 여과지의 무게차로 계산하였고, 휘발성부유물질 (VSS)은 SS를 측정 한 여지를 450°C에서 회화한 후 무게를 측정하여 부유물질과의 차로 부터 계산하였다.

결과 및 고찰

물리·화학적 특성

수온, 염분: 연구해역 수온의 연간 변화 범위는 표층수에서 가장 크게 나타 났으며 (14.5~25.7°C), 수심이 깊어 짐에 따라 30 m층에서 14.5~20.9°C, 60 m층에서 13.2~17.9°C로 수온 변화 폭이 감소 하였다. 해역 별로 보면 바깥쪽 (정점 6)에서 8월에 표층 수온의 최고값 (25.6°C)을 나타낼때 심층수에서 최저값인 13.2°C를 나타내어 수온차가 가장 컸다. 중간역인 정점 3의 30 m 수심에서는 최고값 (20.9°C)은 11월에 나타난 반면 최저값 (14.5°C)은 3월로 연안역 보다 수심별 수온차는 바깥쪽이 변화폭이 컸다. 계절별 분포 특성은 11월 이후부터 4월까지 상하 혼합 형태가 잘 이루어지고 있으나, 여름철에는 수온과 수심간의 약간의 성층현상을 볼 수 있다. 연구해역의 수온, 염분에 의한 현장 밀도 (δ_t)의 연직분포도를 Fig. 4에 나타내었다.

염분농도는 수온과 같은 양상으로 표층수에서 가

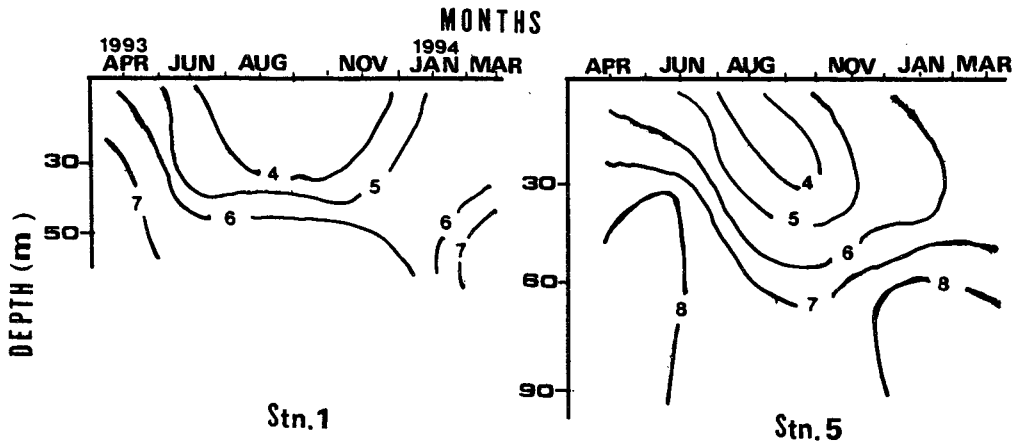


Fig. 2. Seasonal fluctuation of dissolved oxygen at stations 1 and 5.

장 큰 변화폭 (30.46~34.71°C)을 보였고, 30m (32.66~34.71°C), 60m (33.70~34.72°C)층으로 수심 증가에 따라 변화폭이 감소함을 알 수 있다. 해역별로 보면 표층수층 수온이 가장 높았던 바깥쪽 (정점 6)에서 가장 낮은 염분농도가 나타나고 있어 저염수 유입이 영향을 있음을 알 수 있다. 이는 Kim and Rho (1994)이 보고한 하계 양자강 유입수가 이 지역까지 미치고 있다는 결과와 일치함을 뒷바침 해주고 있다. 이와같이 표층수의 수온, 염분 변화 특성은 연안쪽 (정점 1)에서 비교적 저온 고염이고, 바깥쪽에서 고온 저염현상이 나타나는 것으로 보아 바깥쪽해역은 양자강 연안수가 이 해역의 표층수에 영향을 미치고 있다고 보아지며, 연안역은 심층수에 존재하는 저온 고염수가 연안을 따라 용승되고 있음을 알 수 있다. 또한 저층수 (60m 이심)의 수온과 염분값이 8월에 오히려 하강하는 경향을 보이고 있는데, 이는 표층수의 영향보다는 황해저층냉수가 여름철에 남하한다는 Kim et al. (1991), Youn et al. (1991), Pang et al. (1992)의 보고와 일치하고 있어 이 해역까지 남하 범위에 들어 간다고 볼 수 있다. 그러나 아직까지 정확한 황해저층냉수괴의 남하범위는 물리, 화학, 생물학적인 상세한 조사가 더 이루어져야 한다고 보아진다.

용존산소 : 표층수층의 용존산소 농도는 5.28 ml/l (3.30~7.92 ml/l)로 최고값은 4월에 정점 2에서 최저값은 8월에 정점 5에서 나타났다. 그리고, 연안쪽 정

점 1과 가장 바깥쪽의 정점 5에서 계절별 용존산소의 변화를 보면, 8월과 11월의 표층 (0~30m층)이 모든 정점들에서 4 ml/l 이하의 낮은 값을 보인다. 특히, 이 지역의 용존산소의 수직분포도를 보면 수심의 증가와 함께 용존산소값도 증가하여 전계절에 걸쳐 표층에는 저농도, 저층에는 고농도의 용존산소 분포를 보이고 있는 것이 특징이다 (Fig. 2). 연안쪽 (정점 1)과 바깥쪽 (정점 5)의 각 수층별 겉보기 산소소모량 (AOU)을 구해보면, 연안역의 표층과 30m층은 각각 -0.06~+1.98 (포화율 101~64%), -1.48~+1.58 (포화율 125~72%)로 나타났고, 바깥쪽해역에서 각각 -0.71~+1.74 (포화율 112~66%), -2.16~+1.35 (포화율 132~75%)를 보였다. 정점 1의 표층과 30m층에서 과포화 상태인 음의 값은 4월에 그 외의 달에는 불포화상태를 보였다. 정점 5에서 과포화는 표층수에서 1, 3, 11월에, 30m층에서는 4, 6월에 나타났다. 그러나, 저층수에서는 전 계절에 걸쳐 과포화 상태의 음의 값을 나타내고 있다.

영양염류 : 연구해역의 표층수층 질산 질소의 농도 범위는 0.04~8.19 $\mu\text{g-at/l}$ 였으며, 수심증가에 따라 농도는 증가하고 있다. 최고농도는 연안역의 정점 1의 저층수에서, 최저농도는 중간역인 정점 4의 표층에 나타나고 있다. 계절별 분포는 동계인 1월에 전정점 전수심층에서 5 $\mu\text{g-at/l}$ 이상의 값을, 3월부터 11월사이에는 그 이하의 값으로 낮게 나타나고 있다. 계절

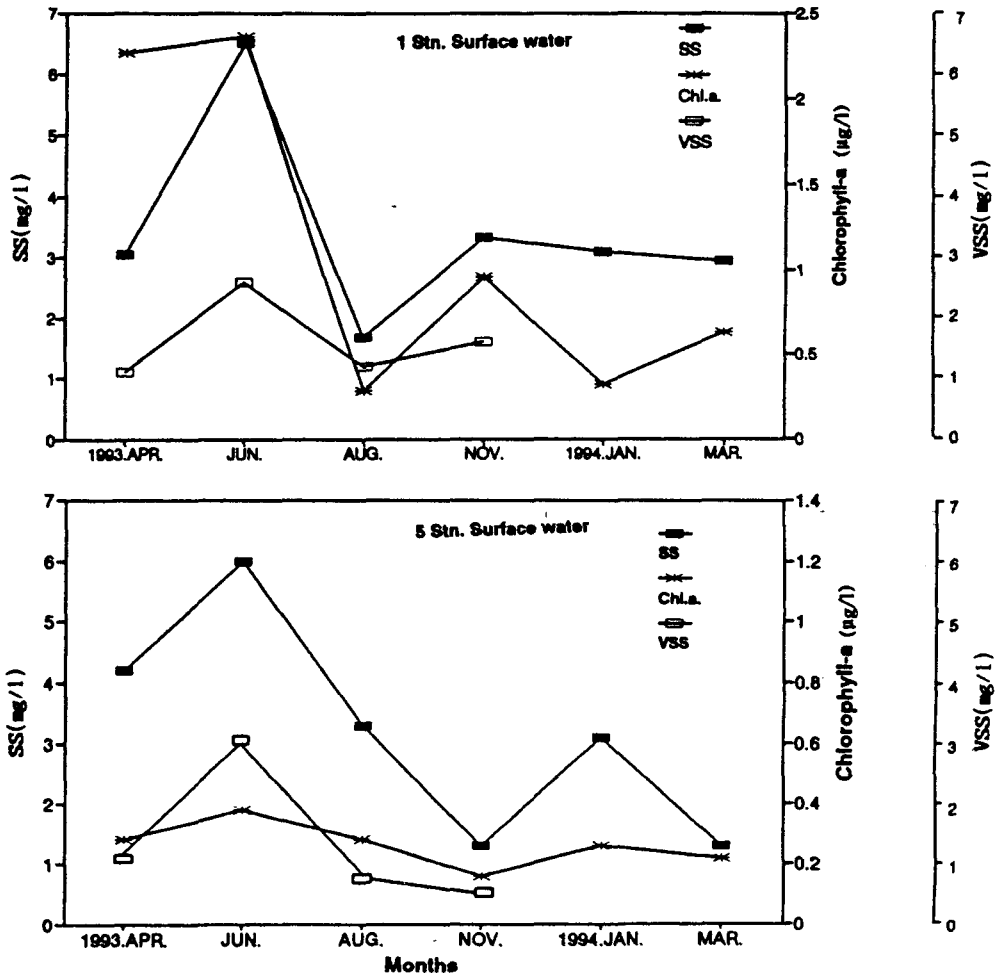


Fig. 3. Seasonal variations of chlorophyll-a, the suspended solid and the volatile suspended solid at stations 1 and 5 from April 1993 to March 1994.

별 연직분포를 보면 겨울철에 2.00~8.19 $\mu\text{g-at/l}$ 의 비교적 고농도 였으나, 4월부터 11월까지의 표층에서 0.5 $\mu\text{g-at/l}$ 이하의 낮은 농도를 보일때는 이 해역의 표층수의 식물플랑크톤이 활발한 증식으로 인해 소모된 영향으로 생각되며 실제 이때 식물색소의 농도가 4월 이후 급격한 증가를 보이고 있어 이를 뒷받침해주고 있다. 이와같은 농도분포들은 제주도 서북방 (Yang and Kim, 1990)과 제주도 북, 동부해역 (Choi et al., 1991, 1993)의 결과와 비교해 보면 높은 농도를 나타내고 있다. 그러나 이 해역에는 육상에서의 유입원이 없어 자체공급원에 의한 영향으로 생각된다 (Fig. 5. 6). 인산 인의 농도는 연간 0.03~1.76 $\mu\text{g-at/l}$ 범위였

으며, 년평균값은 표층에서 0.3 $\mu\text{g-at/l}$, 30 m층에서 0.67 $\mu\text{g-at/l}$, 60 m층에서 0.78 $\mu\text{g-at/l}$ 였다. 수층별 분포특성은 표층수중 최대농도는 바깥쪽에서 최저농도는 연안쪽에서 나타나고 있지만 60 m층의 저층수에서는 최대농도가 연안쪽에서 최저농도는 중간역인 정점 3에서 보여주고 있다. 계절별로는 동계인 1월에서 3월까지 0.6 $\mu\text{g-at/l}$ 이상의 고농도가 전수심에 분포하고 있으나 4월부터 11월까지의 표층수에 0.3 $\mu\text{g-at/l}$ 이하의 낮은 농도를 보였다. 특히, 4월에는 0.2 $\mu\text{g-at/l}$ 이하의 낮은 값을 보이고 있는데 이는 이때 질산 질소의 낮은 농도와 같이 급격한 식물플랑크톤의 증식에 의한 소모의 영향으로 생각된다. 본 연구 해역의 인산인이

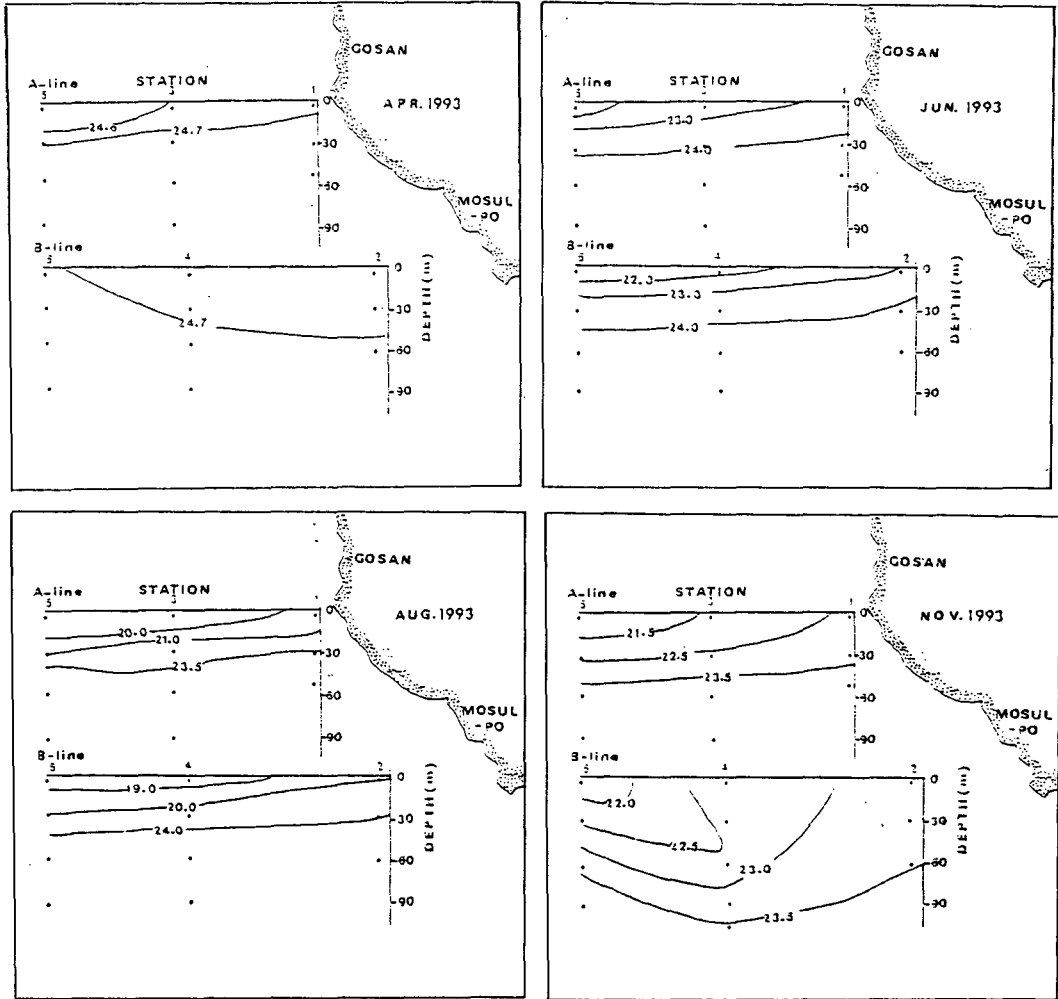


Fig. 4. Vertical profiles of sigma (δt) at each sampling stations from April to November 1993.

표층에서 30 m층까지의 평균농도가 $0.55 \mu\text{g-at/l}$, 60 m 이심의 저층수가 $0.68 \mu\text{g-at/l}$ 이상으로 Choi et al. (1991, 1993)의 제주도 북부 및 동부해역의 농도보다 2배이상 제주서북방 (Yang and Kim, 1991)의 농도보다 높은 농도를 보이고 있어 특이한 현상으로 생각된다 (Fig. 6). 규산 규소의 농도는 표층에서 평균 $8.78 \mu\text{g-at/l}$, 30 m수심층에서 $12.57 \mu\text{g-at/l}$, 60 m이심에서 $14.15 \mu\text{g-at/l}$ 였으며, 계절별로는 6월의 표층에서 $3 \mu\text{g-at/l}$ 의 상대적 저농도인 반면 11월의 저층에서는 $57 \mu\text{g-at/l}$ 정도의 고농도가 나타나는 등 계절별 해역별 농도차가 크게 나타났다. 특히, 4월과 6월의 표층수층의 규산규소 농도가 낮은 것은 겨울 동안 저층수의 고농

도가 상층으로 혼합되어 고영양염류 상태에서 수온 상승으로 인한 봄철 식물 플랑크톤의 대증식에 의한 소모의 영향으로 생각되며 실제 이 기간동안 식물색소의 값은 매우 높게 나타나고 있다. 또한 8월과 11월에는 질산 질소와 인산인의 농도값이 표층에서의 분포양상과 달리 규산규소 농도는 특이하게 고농도를 나타내고 있다.

이상과 같이 본 해역의 영양염류의 연직 수평분포도에서 보면 육상유입수의 영향이 없는 해역이지만 표층수에 높은 농도를 보이는 것으로 보아 연안용승의 결과라고 생각된다 (Fig. 5, 6)

질산질소와 인산인 (N/P), 규산규소와 인산인 (Si/P

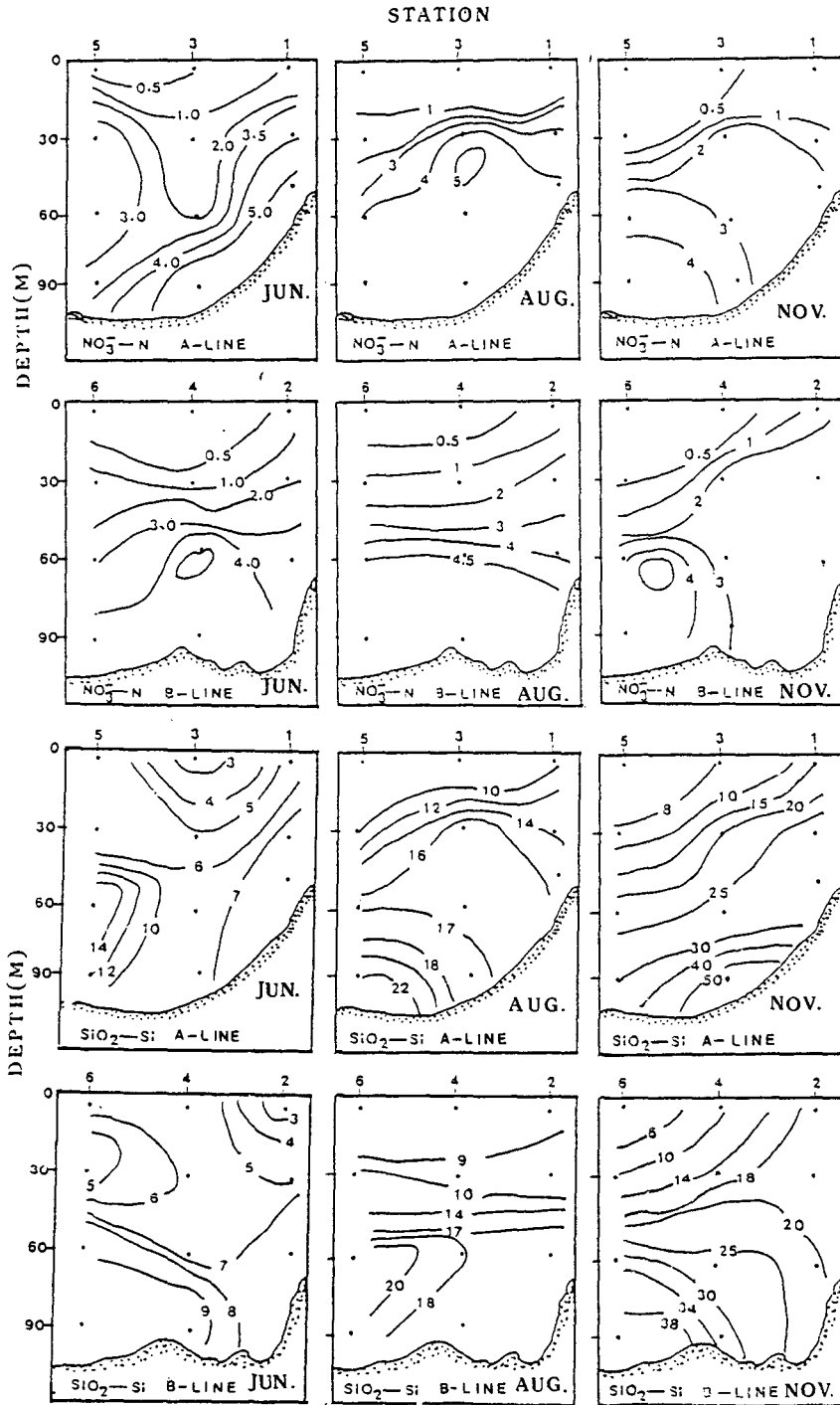


Fig. 5. Vertical distribution of nitrate and silicate from June to November 1993.

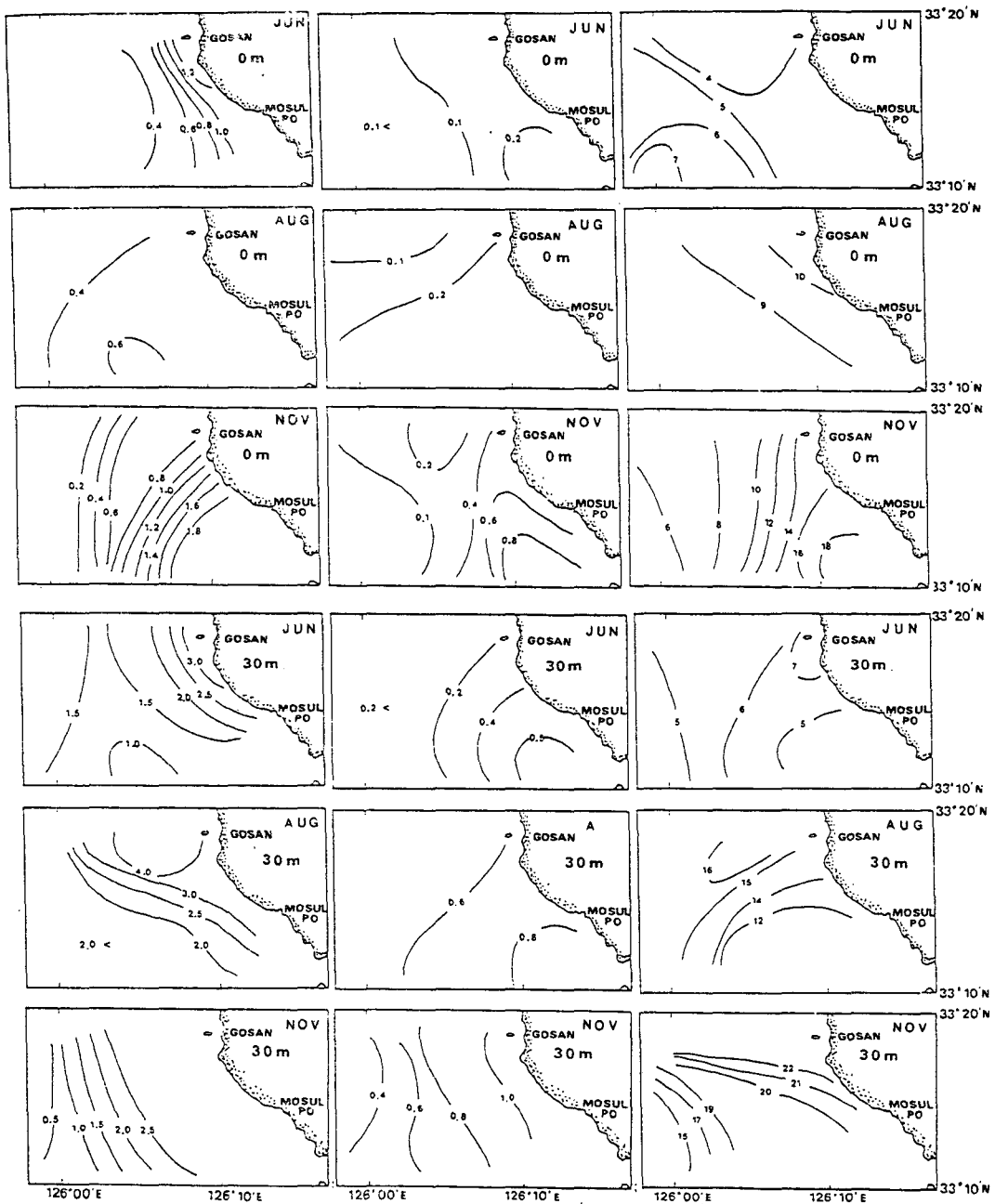


Fig. 6. Horizontal distribution of nitrate, phosphate and silicate from June to November 1993.

P)의 비 : 영양염류의 상호 원자비는 연안쪽의 정점 1과 2, 바깥쪽의 정점 5와 6로 나누어 계절별 수심별 비를 계산하였다. 이 값은 총 121개 자료가 이용되었고, 상대적 인의 값이 매우 높은 4개의 자료는 제외하였다. N/P비는 년평균 8.0 (3.8~20.4)으로 최고값

과 최저값은 모두 연안 표층수에서 4월과 11월에 나타났다. 수역별로는 4월을 제외하고 연안쪽보다 바깥쪽에서 다소 높게 나타났으나 그 차이는 미미하였다. 표층과 30~60m층의 수심에 따른 변화를 보면 연안쪽의 경우 표층에서, 바깥쪽에서는 저층에서 다소

높은 값을 보였지만, 수심 증가와 함께 증가한 영양염류의 농도 분포와 같은 경향은 보이지 않았다.

Si/P비의 연간 범위는 8.7~224.8로 평균 46.3의 값으로 계절별 수심별 변화 폭이 크게 나타나고 있다. 4월에 60.6~224.8로 전 정점에 걸쳐 높게 나타나고 있고 최고값은 연안역의 표층에서 보였다. 계절별로는 1~3월에 8.9~16.3 범위로 낮게 나타났으며 최저값은 1월의 저층에서 나타났다. 이들의 비는 대체적으로 겨울철에 낮고 봄, 여름철에 높은 값을 보였다. 전 수층의 년평균 N/P값은 연안쪽이 7.6 바깥쪽해역이 8.3으로 연안쪽해역에서 약간 낮게 나타났지만 비슷한 값을 보였다. N/P비는 대체로 하구역이나 연안역에서 낮게 나타나는데 이것은 인산인에 비해 질산 질소등이 생물에 보다 효과적으로 동화되기 때문이라고 Ryther and Dunstan (1971)과 Maita et al. (1982)의 보고와 본 연구해역의 N/P비가 낮게 나타나는 결과와 일치하고 있다고 보아진다. 이와같은 값들은 Yang and Kim (1991)의 제주도 서부해역의 8월 표층, 50 m층에서 나타난 값 (4.58과 4.06)과 비슷하지만 Choi et al. (1991, 1993)에 의한 제주도 남방 해역이나 북부역, 동부역의 값보다 낮았다. 이는 이 해역에서 식물플랑크톤의 활발한 증식에 의한 영양염류 소모로 인한 영향 때문이라 생각되며, 실제 식물플랑크톤이 크게 증가하는 것으로 잘 설명되어 진다.

식물색소 (Chlorophyll-a), 부유물질 (SS), 휘발성 부유물질 (VSS) : 연구해역의 식물색소의 연간 농도 범위는 0.04~2.36 $\mu\text{g/l}$ 로 4, 6월의 표층에서 2 $\mu\text{g/l}$ 이상의 높은 값을 보였다. 표층수층 평균농도는 연안역의 정점 1과 2에서 0.85 $\mu\text{g/l}$ 로 바깥쪽의 정점 5와 6의 0.44 $\mu\text{g/l}$ 보다 높게 나타났다. 30 m층의 연안쪽에서 평균 0.51 $\mu\text{g/l}$, 바깥쪽의 평균 0.46 $\mu\text{g/l}$ 를 보였고, 60 m층의 연안쪽에서는 0.40 $\mu\text{g/l}$, 바깥쪽이 0.28 $\mu\text{g/l}$ 를 보이고 있다. 이와같이 식물색소의 농도는 연안쪽에서 높은 값을 보여주고 있다. 계절별로는 3, 4, 6, 11월에 높은 값을 보였고, 1월과 8월에 낮은 값을 보였다. 이 식물색소의 높은 값을 나타내는 3, 4, 6, 11월의 표층에는 이 기간 동안에 영양염류 농도도 감소하고 있어 이는 식물플랑크톤에 의한 소모의 결과라고 생각된다. 1월의 낮은 식물색소의 값은 광조건 등 식물플랑크톤 성장에 제한요인에 의한 증식량의 감소로 생각된다. 8월의 경우는 강한 광조건 및 소모량에 비해 저층으로

부터 영양염류의 원활한 공급이 미치지 못한 결과로 보아진다. 부유물질 (SS)의 평균값은 3.14 mg/l (0.75~8.47 mg/l)였으며, 표층, 30 m, 60 m의 수심에서 각각 평균 3.18, 3.14, 3.09 mg/l로 표층수에서 약간 높지만 큰차이는 나타나지 않았다. 계절별로는 정점 1의 6월에 최고값 (6.5 mg/l)을 나타내고 있고, 정점 5의 3월에 최저값 (1.3 mg/l)을 나타내고 있다. 연안역 정점 1의 표층의 부유물질 농도는 6월을 제외하고 전 계절에 걸쳐 3 mg/l이하의 낮은 농도가 폭넓게 나타나고 있다. 바깥쪽의 정점 5의 표층의 계절변동은 정점 1과 비슷한 경향을 보이고 있지만, 3, 11월의 2 mg/l이하의 농도를 제외하면 전계절에 3 mg/l 이상이 균일한 농도가 분포하고 있다 (Fig. 6). 휘발성 부유물질 (VSS)의 4~11월의 평균값은 1.6 mg/l (0.80~3.75 mg/l)로 나타났고, SS 최고값이 나타난 6월에 최대값을 보였다. 4~11월의 수심별 SS에 대한 VSS 백분율을 구해보면 표층수에서 연안역의 정점 1이 53%, 바깥쪽해역의 정점 5가 46%로 나타났고, 30 m층에서는 각각 46%와 32%, 60 m층에서 각각 39%와 32%였다. 이 결과로 볼 때 표층이 심층보다 휘발 성분이 높고 반대로 심층으로 갈수록 고형 성분이 증가하였다. 또한 연안역의 정점이 바깥쪽해역 보다 휘발 성분이 많게 나타났다 (Fig. 3). 용승현상이 뚜렷한 6~11월 동안에 연안역 (정점 1, 2)과 바깥쪽해역 (정점 5, 6)의 식물색소와 부유물질, 휘발성부유물질을 비교하여 보면 연안역에서 식물색소는 2배이상 높게 나타나고 있고, SS 및 VSS는 약간 높지만 거의 비슷하게 나타나고 있다. 이는 용승으로 인한 영양염류의 원활한 보급으로 연안역의 기초생산력이 비교적 높게 나타나는 것으로 사료된다. Chlorophyll-a, SS, VSS의 계절변화 경향은 비슷하여 연안역에서 봄철 (4, 6월)과 가을 (11월)에 높은 값을 보였고, 1, 3, 8월에 낮은 값을 나타내고 있다. 바깥쪽에서는 SS와 VSS량은 연안역과 별차이가 없지만 식물색소값에 있어서 큰 차이를 보이고 있다 (Fig. 6). 이와 같이 이들 3성분이 비슷한 분포경향으로 보아 부유물질의 상당부분이 식물플랑크톤으로 보아진다. 따라서, 봄철에 높은 기초생산량 (식물색소 값)은 겨울철 상하혼합으로 풍부한 영양염류가 봄철의 수층의 안정과 광조건의 호전으로 식물플랑크톤의 대량증식의 결과로 보아진다. 이 지역의 바깥쪽 보다 연안쪽에서 높은 기초생산력은 연안용승으로 인한 영

양염류의 충분한 공급 때문인 것으로 사료된다.

연안용승과 근원

Fig. 4은 4월 부터 11월까지 현장밀도 (δt)의 연직 분포이다. 4월은 A-line이 바깥쪽해역 보다 연안쪽해역에서 δt 값이 약간 높다. 그러나 B-line에서는 오히려 연안역에서 낮게 나타나 뚜렷한 연안용승 현상을 찾을 수 있었다. 6월부터는 A, B-line 모두에서 바깥쪽해역과 연안역의 δt 값이 상승하고 있어 연안용승현상을 뚜렷하게 볼 수 있다. 이러한 현상은 8월까지 계속되고 있는데 실제 8월말 연안역 표층수의 δt 값은 바깥쪽해역의 δt 값보다 1.0 이상의 높은 값을 보이고 있다. δt 값은 A-line의 정점 1과 3의 중간역까지 바깥쪽해역인 정점 5에 비해 높게 나타나고 있으며, B-line에서도 연안역의 정점 2와 4사이까지 바깥쪽보다 높게 나타나고 있는 것으로 보아 연안용승은 연안역에만 국한되지 않고 약간 바깥해역까지 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 11월에 와서는 이러한 연안용승 현상이 더욱 뚜렷하게 나타나고 있어 본 연구해역의 연안용승은 6월에서 11월까지 계속되고 있음을 알 수 있었다. 동계에는 상·하혼합이 뚜렷하게 나타나 표층과 저층의 δt 값은 거의 일정한 분포를 보이고 있다. 이러한 δt 값으로 본 연안용승 현상이 일어날때의 영양염류중 질산 질소와 규산 규소의 표·저층수의 농도분포는 Fig. 5에서 보는 바와같이 6월의 A-line은 해안선으로 갈수록 등농도선이 상승하는 용승현상이 뚜렷하게 나타나고 있으며, B line의 경우 등농도선이 중·상층에서 상승하고 중·하층에서 침강하는 상하분산형의 용승형태를 보이고 있다. 또한 8월은 비교적 연안용승 현상이 뚜렷하게 나타나고 있다. 특히 상하분산 형태의 용승현상이 모든 성분들에게서 나타나고 있고 규산 규소에서 더욱 뚜렷하였다. 11월은 조사기간 중 물리, 화학적 모든 성분들에게 있어서 가장 강한 용승을 보여주고 있다. 수심 약 60m층을 분기점으로 상하분산 형태의 용승이 명확히 구분되고 있음을 보여주고 있고 B line에서 더욱 강하게 나타나고 있다 (Fig. 5). 이와같이 영양염류의 수직분포도는 물리적 성분인 δt 에서도 뚜렷한 용승을 보여주고 있다. 특히, 연구해역 표층과 30m층의 영양염류의 수평분포도를 보면 연안용승을 보다 명확히 볼 수 있다. Fig.

6의 질산 질소의 수평분포도를 보면 6월의 표층에서 해안쪽의 고농도의 질산 질소가 바깥쪽으로 확산되어 가는 것을 볼 수 있으며 등농도선의 간격도 바깥으로 갈수록 넓어지고 있다. 30m층에서도 표층 보다 상대적으로 농도는 높지만 등농도선의 분포 경향은 비슷하게 나타나고 있다. 8월의 수평분포는 표층이 질산 질소가 광범위하게 고갈되어 뚜렷한 농도구배는 없지만 연안쪽에 다소 높은 값을 보여 주고 있고, 30m층은 6월과 같은 경향을 보이고 있다. 11월의 경우는 연안쪽에서 바깥쪽으로 확산되고 있는 농도분포를 명확히 볼 수 있으며, 농도의 구배도 현저하여 연안역에서 고농도의 질산질소가 분포하고 있다. 특히, A line 보다는 B line에서 더욱 강하게 나타나고 있다. 인산 인과 규산 규소의 수평농도분포에서도 질산 질소의 분포와 유사하게 나타나고 있는 것으로 보아 연안역에서 고농도의 영양염류가 외해로 확산되어 나가는 것은 연안용승의 결과로 보아진다. 왜냐하면 이 지역은 제주도 남부, 동부, 북부지역과는 달리 하천이 발달되어 있지 않고, 인구밀도와 산업시설이 적은 데도 불구하고 6~11월에 걸쳐 연안역의 상부층 (0~30m)에 고농도의 영양염류가 외해로 확산되어 나가는 수평농도분포 경향은 연안용승의 결과로 보는 것이 타당하다.

따라서, 물리·화학적 성분들의 수직·수평 농도분포로부터 이 지역의 용승현상을 종합해 보면 6~11월 동안에 연안 용승현상이 나타나고 있는 것을 보여 주고 있으며, 용승의 형태는 4월은 저층에서 부터 등농도선이 상승하는 상층용승형이 나타나고 있고, 11월까지 상·중층에서 해안으로 갈수록 등농도선이 해수면으로 상승하는 상층용승형태를 보였고, 중·하층에서는 등농도선이 해저면으로 하강하는 하층침강형태의 상하분산형용승이 나타났다. 용승의 강도는 11월에 가장 강하였으며, A line 보다 B line쪽에서 더 강하게 나타났다. 이와같은 현상은 Pang and Kim (1993)의 연구결과인 등온선과 등염분선이 해안으로 갈수록 상·중층에서는 해수면으로 상승하고 (상층용승형) 중·하층에서는 해저면으로 하강하는 (하층침강형) 형태 (상하분산형)라고 한 보고와 Kelley et al. (1975)이 페루 연안 표층수층의 고영양염류 농도가 연안용승에 의한 결과라는 것과 잘 일치하고 있다.

요 약

사 사

1) 이 연구해역의 밀도 (δt), 영양염류의 수직 · 수평분포도로 부터 연안용승현상을 볼수 있었다. 4월은 상층용승형이 미미하게 나타나고 있고, 6~11월은 상 · 중층에서 등농도선이 해수면으로 상승하고, 중 · 하층에서 해저면으로 하강하는 형태의 상하분산형 용승이 뚜렷하게 나타났다. 용승은 6월과 11월에 강하게 나타났으며, 폭도 넓게 형성되었다.

2) 용승지역의 영양염류의 표층 농도범위는 질산 질소가 0.06~7.12 $\mu\text{g-at/l}$, 인산인이 0.03~1.75 $\mu\text{g-at/l}$, 규산규소가 2.75~22.32 $\mu\text{g-at/l}$ 를 나타내어 계절과 수심에 따라 큰 차이를 보였다. 상하혼합이 잘 이루어 지는 겨울과 초봄에 고농도의 영양염류가 균일하게 분포하고 있고, 여름과 가을철 표층에서 낮고 수심에 따라 증가하였다. 또한 용승해역인 연안역의 정점 1과 2의 표층수에서 영양염의 농도는 바깥쪽 해역보다 현저하게 높게 나타나고 있다.

3) 용존산소농도는 표층 (0~30 m)에서 년평균 5.28 ml/l, 저층 (60~100 m)에서 7.30 ml/l를 나타내어 특이하게 저층에서 높았다. 이는 황해냉수괴의 영향인지 아니면 다른 요인이 있는 것인지 면밀한 조사가 요구된다. 또 다른 특징은 8~11월에 22~56 $\mu\text{g-at/l}$ 범위의 고농도 규산규소가 전 정점에 폭넓게 분포하고 있는데 이는 봄철 대증식으로 발생한 플랑크톤의 분해와 양자강연안수의 영향으로 보아진다.

4) 이 지역의 년평균 N/P비는 8.0, Si/P비는 46.3으로 나타나 제주도 북부, 남부, 동부와 비교하여 낮은 N/P값과 높은 Si/P값을 보였다.

5) 식물색소의 농도범위는 0.04~2.36 $\mu\text{g/l}$ 로 특히 봄철에 표층수에서 2 $\mu\text{g/l}$ 이상의 높은값을 나타내었고, 특히 용승해역인 연안역이 바깥쪽 해역보다 높게 나타났다.

6) 부유물질의 평균값은 3.14 mg/l (0.75~8.47 mg/l)로 생물의 서식하기에 호적한 상태였고, VSS/SS백분율은 연안역의 정점 1에서 53%, 바깥쪽 해역의 정점 5에서 46%로 나타났으며 수심증가에 따라 감소하였다. 또한 연안역의 바깥쪽 해역보다 휘발성분이 높고, 표층보다 심층으로 갈수록 고형성분이 증가하였다.

이 연구를 수행함에 있어서 채수와 분석을 도와준 제주대학교 해양학과 해양화학실원들과 제주대학교 해양연구소 아라 2호 선장님과 승무원들께 감사드립니다. 본 연구는 1993년도 교육부 기초과학 육성연구비의 지원에 의해 수행되었다.

참 고 문 헌

APHA · AWWA · APCF. 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16th ed, American Public Health Association, U.S.A pp. 417~463.

Choi, Y. C., Y. S. Moon, Y. B. Go and J. B. Lee. 1991. Bioecological studies of the northern coastal area in Cheju Island - Chemical characteristics of seawater around Hamduck, Northern part of Cheju Island. *J. Korean Earth Sci. Soc.*, 12 (1), 38~45 (in korean).

Choi, Y. C., Y. B. Go and J. B. Lee. 1992. Bioecological studies of the southern coastal area in Cheju Island (1) - Seawater properties of coastal zone around Seogwipo. *J. Korean Earth Sci. Soc.*, 13 (3), 327~335 (in Korean).

Choi, Y. C., Y. B. GO and J. B. Lee. 1993. Bioecological studies of the eastern coastal area in Cheju Island (1) - Seawater properties of coastal zone around Udo. *J. Korean Earth Sci. Soc.*, 14 (4), 450~457 (in Korean).

FAO. 1975. Manual of Method in Aquatic Environment Research. U.S.A, 145 pp.

Kelley, J. C., T. E. Whitley and R. C. Dugdale. 1975. Results of sea surface mapping in the Peru Upwelling System. *Limnol. Oceanogr.*, 20 (5) 784~794.

Kim, K. and S. H. Lee. 1982. Vertically homogeneous water along the west coast of Jeju Island. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 17 (2), 59~68.

- Kim, K., H. K. Rho and S. h. Lee. 1991. Water masses and circulation around Cheju-Do in summer. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 26 (3), 262~277 (in Korean)
- Kim, I. O and H. k. Rho. 1994. A study on China Coastal Water Appeared in the Neighbouring Seas of Cheju Island. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27 (5), 515~529 (in Korean).
- Maita, Y. 1982. Oceanographic description of Japan Funka Bay (II) - Chemical environment. *Bull. Coast. Oceanogr.*, 19 (2), 182~192.
- Park, Y. H. 1985. Some important summer oceanographic phenomena in the East China Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 20, 12~21.
- Park, Y. H. 1986a. A simple theoretical model for the upwind flow in the southern Yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 21, 203~210.
- Park, Y. H. 1986b. Water characteristics and movement of the Yellow Sea Warm Current in summer. *Prog. Oceanogr.* 17, 243~254.
- Pang, I. C., H. K. Rho and T. H. Kim. 1992. Seasonal variations of water mass distributions and their causes in the Yellow Sea, the East China Sea and the Adjacent Seas of Cheju Island. *Bull. Korea Fish. Soc.* 25 (2), 151~163.
- Pang, I. C. and T. A. Kim. 1993. Upwelling in the western sea of Cheju Island. *Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l. Univ.*, 17 (1), 1~12 (in Korean).
- Ryther, J. H. and W. M. Dunstan. 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. *Science*, 171, 1008~1013
- Redfield, A. C., B. H. Ketchum and F. A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. *The Sea. Vol.2.* Interscience Publishers New York-London. 26 pp.
- Strickland, J. D. H. and Parsons, T. R. 1972. A practical handbook of sea-water analysis, *Bull. Fish. Res., Bd. Canada*, 167 pp.
- Yang, H. S. and S. S. Kim. 1990. A study on the sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea peninsula. I. Physical processes influencing in the surface distribution of chlorophyll and nutrients in the Southern Sea of Korea in summer, *Bull. Korean Fish. Soc.*, 23 (6), 417~424
- Yang, H. S. and S. S. Kim. 1991. A study on the seawater and ocean current in the sea adjacent to Korea peninsula. II. Geographical distribution and chemical characteristics of different mid-bottom waters in the neighbouring sea of Cheju Island in summer, *Bull. Korean Fish. Soc.*, 24 (3), 177~184.
- Youn, Y. H., Y. H. Park and J. H. Bong. 1991. Enlightenment of the characteristics of the Yellow Sea Bottom Cold Water and its southward extension. *J. Korean Earth Sci. Soc.* 12 (1), 25~37 (in Korean).

1995년 12월 16일 접수

1996년 9월 2일 수리