

제주도 서북방해역에서 혼합기와 성층기의 수질변동

최 영 찬

제주대학교 해양학과

Water quality variations in the northwestern sea of Cheju Island in the mixed and stratified terms

Young-Chan Choi

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

In order to study the variations of water quality in the northwestern sea of Cheju Island in the mixed and stratified terms, waters were sampled from surface to bottom and analyzed physically and chemically at 20 stations in May 1-10 and July 11-20, 1993. The results are as follows.

In the mixed term of early May, the differences of temperature, salinity and σ_t between surface and bottom are less than 1°C, 0.1‰ and 0.1, respectively. In the stratified term of early July, the differences are greater than 8°C, 6‰ and 3.6, respectively, which shows sharp changes in the characteristic value between surface and bottom. In nutrients, only nitrate rapidly decreases at surface in the stratified term than in the mixed term, while phosphate and silicate rather increase at surface in the stratified term. This proves that nitrite would be a limiting factor in the growth of phytoplanktons. N/P and Si/P range 7-14 and 32-36 in the mixed term, while 2-3 and 14-34 in the stratified term, respectively. It means that nitrate nitrogens are wanted in the stratified term. Chlorophyll-a at the depths of 0m, 30m and 50m are 0.62, 0.84 and 0.42mg/m³ in the mixed term, while 0.31, 0.74 and 0.27mg/m³ in the stratified term, respectively. This suggests that biological activities are probably flourishing with the plentiful nutrients coming from the bottom by the mixing process in the early May.

Key words : mixed and stratified terms, σ_t , nutrients, chlorophyll-a

서 론

제주도 서북방해역은 여름철 중국대륙 연안수가 제주도 서쪽을 우회하여 우리나라 남해안까지 그 세력이 확장하고 있다고 보고되고 있으며(김, 노, 1982; park, 1985). 또한 서해 중앙부에서 겨울철에 형성된 황해 저층냉수가 계절수온약층의 하부를 따라 제주도 남서쪽 해역까지 남하 확장하여 동경 125°, 북위 30 부근까지 이르는 것으로 보고하고 있다(Nakao, 1977). 그리고 양자강등 중국 대륙연안수가 여름철에는 대량 유입되어 저염의

수괴가 형성되어 동중국해로부터 제주도 남서쪽까지 확장하여 제주도 주변 해역은 물론 남해까지 저염화현상을 나타낸다고 보고하고 있다(Miyazak and Abe, 1960; Lim, 1976). 이와같이 제주도 주변해역에는 몇개의 수괴에 의한 계절적 소장, 혼합, 확산의 현상도 다양하다. 이와같은 해양의 물리, 화학적 과정을 이해하는데 중요한 해역에 대하여 비교적 많은 연구가 이루어져 왔지만(Dong, 1970; 노, 1976; 노, 平野, 1984; 노, 1985; 김, 1987) 그러나 해수의 화학적특성 특히 기초 생산력에 관련되는 화학성분들의 물질순환에 관한 보고

는 극히 적다(전, 고, 1983; 박 1982). 김(1987)은 하계에 제주도 주변역을 대상으로 하여 해수의 화학적특성에 관하여 보고한 바가 있다. 이와같이 제주도 서북방 해역은 대마난류의 지류영향과 강우시 육상수의 영향, 중국대륙 연안수등 복잡한 해양특성을 갖는 해역이다. 그러나 이러한 연구들은 계절적이거나 지엽적인 연구에 국한되고 있었다. 특히 물리적, 화학적, 생물학적인 측면에서만 연구가 진행되고 있을 뿐이다.

해역의 특징은 계절에 따라 혼합기와 성층기에 반복되는 현상이 지속되어지고 있으며 또한 이러한 현상에 따라 수질적인 측면에서 그 특성이 변화되어지는게 일반적인 현상이다. 그러나 아직까지 이러한 혼합기와 성층기에 따른 제반변화 특성을 연관시켜 연구되어진 보고는 거의 없는 실정이다. 본 연구 해역도 5월까지 수심 70m 이상까지도 표·저층간 농도변화폭이 아주 미미한 균질된 상태가 유지되고 있으며 7월 초순부터는 차층 표층부터 수온, 염분들의 수심에 따른 성층현상이 나타나기 시작하는 계절에 접어들고 있었다. 이러한 현상을 다른 수질인자들과 같이 연관시켜 혼합기, 성층기에 따른 수질특성을 규명함으로써 다른 생물학적인 연구에도 도움을 줄 수 있다고 생각되어진다. 따라서 본 연구는 제주도 서북방 해역에서 혼합기인 5월과 성층기 시작인 7월 초순의 수질특성을 밝히고자 한다.

재료 및 방법

시료채취

본 조사는 1993년 5월 초순과 7월 초순에 제주도 서북방 해역에서 5월달에 10개 지점과 7월달에 10개 지점에서 수층별로 채수하였다(Fig. 1). 특히 혼합기(5월 초순)와 성층기(7월 초순)의 수질을 비교하기 위하여 5월달 정점 1과 정점 10을 7월달에도 정점 1에 해당하는 정점은 13이었으며 또한 정점 10에 해당하는 정점은 17에 해당하는 것으로 정하여 Niskin 채수기를 이용하여 채수하였다.

분석방법

수온은 봉상온도계와 CTD(SBE 19-03, USA)로 현장에서, 염분은 salinometer(Tsrumi-SKI,

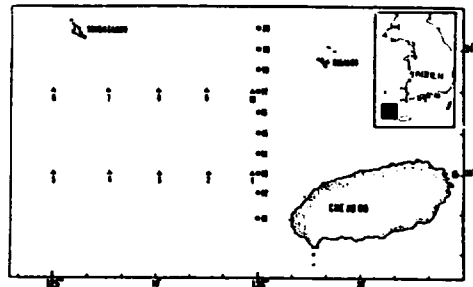


Fig. 1. Location of the sampling stations in the northwestern sea of Cheju Island : Sts, 1 to 10 in May, and 11 to 20 in July.

E-2)와 CTD로 측정, 상호보정하였다. 부유물질은 GF/C여지로 시수를 여과하여 105°C에서 건조 후 함량을 구했으며, 휘발성 부유물질(VSS)은 SS 측정이 끝난 여지를 500±50°C에서 회화시킨 후 무게차로 구했다. 엽록소-a 농도는 선상에서 시수 1-3L를 GF/C 여과지에 여과하여 여과가 끝날 무렵 1% MgCO₃용액 0.5mL로 도포하여 냉동 보관 후 실험실에서 90% 아세톤에 용출시킨 후 원심 분리시켜 상등액의 흡광도를 측정하여 농도를 계산하였다 (Strickland and Parsons, 1968). 염양염 중 질산질소는 질산을 아질산으로 환원시켜 비색 정량하는 방법인 Cu-Cd칼럼법(standard methods)으로 인산인은 ascorbic acid법(Strickland and Parsons, 1972)에 의한 비색 정량법, 규산규소는 몰리브덴 청법(standard methods, 1989)에 의해 비색 정량하였다.

결과 및 고찰

Table 1은 혼합기인 5월 초순과 성층기인 7월 초순의 전 정점의 표층, 30m층, 50m 이심층으로 구분하여 최대, 최소 및 평균값을 나타내었다. 또한 혼합기와 성층기의 수질상태를 비교하기 위하여 5월과 7월의 채수정점중 동일 정점인 정점 1과 13, 10과 17의 수질변화 상태를 Fig. 2와 Fig. 4에 나타내었다.

혼합기의 수질

- 수온 및 염분

제주도 서북방해역에서 혼합기와 성층기의 수질변동

Table 1. Range and mean values of physical and Chemical constituents at each depth of all stations in May and July 1993.

	Surface		30m depth		>50m depth		Range
	May	July	May	July	May	July	
Temp. (°C)	13.33 12.29-14.80	20.36 18.21-21.23	12.83 11.72-14.77	15.65 13.64-17.63	12.54 11.76-14.52	13.54 12.60-15.68	11.76-21.23
Sal. (‰)	34.24 33.80-34.61	32.39 31.72-33.04	34.30 34.05-34.61	33.62 33.15-34.10	34.35 34.14-34.61	34.06 33.65-34.17	31.72-34.61
SS (mg/l)	3.75 1.60-6.60	5.51 2.30-9.30	3.45 1.65-5.60	5.21 2.80-9.60	5.16 2.50-9.30	7.74 3.60-10.90	1.60-10.90
VSS (mg/l)	1.27 0.60-1.80	2.77 0.95-4.80	1.11 0.50-1.60	2.34 1.30-4.50	1.37 0.35-3.78	2.98 1.50-4.95	0.35-4.95
VSS/SS (%)	42 18-81	52 41-58	37 14-68	44 37-56	31 12-62	39 19-63	12-81
NO ₃ ⁻ -N (µg-at/l)	1.06 0.43-2.16	0.50 0.35-0.80	1.60 0.93-2.83	1.35 1.05-2.16	3.19 2.06-4.27	3.14 2.13-5.37	0.35-5.37
PO ₄ ³⁻ -P (µg-at/l)	0.16 0.10-0.21	0.32 0.11-0.57	0.17 0.13-0.24	0.60 0.20-1.31	0.25 0.16-0.44	1.10 0.52-1.71	0.10-1.71
SiO ₂ -Si (µg-at/l)	5.31 3.18-9.33	8.79 5.79-11.79	5.72 3.18-8.19	10.15 5.42-16.34	7.33 3.05-11.74	14.47 10.25-21.74	3.05-21.74
ΔN/ΔP	7(3-17)	2(1-4)	10(5-20)	3(1-7)	14(6-20)	3(2-9)	1-20
ΔSi/ΔP	34(17-54)	32(18-66)	36(16-55)	23(9-45)	32(15-60)	14(8-26)	8-66
Chl. a (mg/m ³)	0.62 0.31-1.83	0.31 0.12-0.48	0.84 0.33-1.77	0.74 0.52-0.89	0.42 0.23-0.79	0.27 0.12-0.54	0.12-1.83
σ _t	24.73 24.52-24.86	21.72 21.24-22.72	24.88 24.72-25.05	23.77 23.23-24.28	24.98 24.77-25.10	24.55 23.78-24.80	21.24-25.10

제주도 서북방해역(동경125°-126°, 북위33°30'-34°)의 수심은 가장 낮은 곳이 50m였으며, 가장 깊은 곳은 80m정도였다. 이 해역의 혼합기인 5월 초순에 수온은 최대가 14.80°C였으며, 최저는 11.72°C였다. 정점별로는 제주도 서쪽 인근인 정점1과 2에서 표층과 저층수 모두 14°C 이상이었으며 제주도에서 서쪽으로 멀어질수록 수온은 1~3°C로 낮아지고 있었다. 그러나 정점 내에서의 표·저층간 수온차가 1°C 이내로 미미하여 상하혼합이 잘 이루어진 상태였다. 이와 같은 결과는 대만난류수가 제주도 서쪽연안 쪽에 더 영향을 주고 있다고 보아진다. 연구해역에서 가장 낮은 수온을 나타내

고 있는 곳은 정점 5와 6, 7로 제주도에서 가장 서쪽으로 멀리 떨어진 곳이었으며 이 해역의 수온은 11~12°C를 보이고 있다.

염분의 평균농도는 34.30‰(33.80~34.61‰)였다. 해역별로는 제주도에 가장 가까운 정점 1과 2에서 34.50‰이상, 서쪽으로 멀어질수록 34.0~34.30‰, 북쪽역인 정점 8, 9, 10에서는 34.3~34.5‰로 뚜렷이 구분되어지고 있다. 그러나 정점 내에서는 표·저층간 농도차가 정점 5에서 0.3‰차를 보인 것을 제외하고는 모든 정점에서 0.1‰ 이내로 표·저층간 혼합이 아주 잘 이루어진 계절이었다(Fig. 2). 염분의 농도도 수온과 마찬가지로 제

주도 연안역 부근에서 대마난류의 영향으로 다른 곳보다 상대적으로 약간 높은 농도를 보이고 있었다.

수온과 염분에 따른 해수의 밀도는 연구해역 중 제일 서쪽에 해당하는 정점 6, 7, 8에서는 수온이 가장 낮은 영향으로 밀도(σ_t)값이 25.0이상을 나타내고 있어 다른 해역의 24.90정도보다 0.1이상 높은 값을 나타내고 있었다.

이와같은 수온, 염분 분포는 양(1990)등의 8월달 표층수의 수온은 27.5-28°C, 염분은 8.0-30.5‰로 본 연구에서의 혼합기인 5월 초순의 13°C, 34‰였던 것이 7월 초순 성층기에는 20.4°C, 32.4‰로 표층수의 급격한 수온상승과 염분저하가 이루어지고 있음을 알 수 있어 본 연구해역은 시·공간적인 변화가 매우 큰 곳임을 알 수 있다(Fig. 2). 그러나 50m이심의 저층수의 수온, 염분은 본 연구기간인 5월 초순에는 12.54°C, 34.35‰, 성층기인 7월달 초순에는 13.54°C, 34.06‰로 저층수는 7월달에 5월달 보다 약간 상승하고 있으나, 김(1987) 등의 보고한 8월달에는 12-13°C로 다시 하강하고 있어 이는 황해 저층냉수괴의 영향을 받는 계절이라 생각된다.

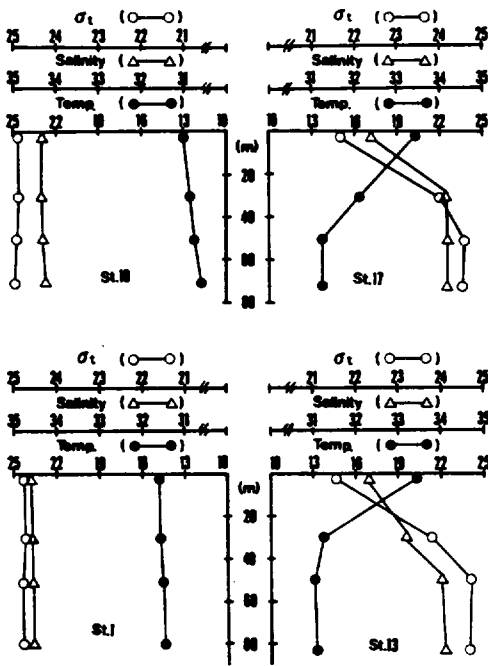


Fig. 2. Seasonal variations of water temperature, salinity and σ_t at Sts. 1 and 10 (in May) and Sts. 13 and 17 (in July).

부유물질 및 휘발성 부유물질

연구해역의 혼합기인 5월 초순의 부유물질 농도는 4.36mg/l(1.60~9.30mg/l)였으며 해역별로는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 정점1에서 5까지는 3mg/l이하, 서북쪽 정점인 6, 7, 8에서는 6mg/l이상, 정점 9, 10에서는 3~5mg/l로 북위 33° 이남 해역에서는 정점 4의 80m수심에서의 8.10mg/l를 제외하고는 타 해역보다 아주 낮은 농도를 보이고 있었다(Fig. 3). 또한 정점 6, 7, 8에서의 고농도(6mg/l이상)는 표·저층수 모두 높은 농도를 보이는 것으로 보아 수심은 80m정도로 깊어 저층 내 부유에 의한 영향보다는 다른 해역에서 유입되고 있지 않은가 생각된다. 또한 부유물질에 대한 휘발성 부유물질의 비는 3mg/l이하를 나타내는 해역에서도 50%이상의 휘발성 부유물질인 반면, 6mg/l이상을 보인 해역에서는 30%미만의 휘발성분을 나타내고 있어 고농도 부유물질은 휘발성분이 아닌 고형분이 유입되고 있다고 보아진다.

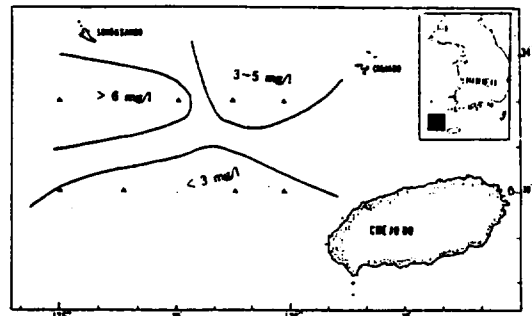


Fig. 3. Horizontal distributions of suspended solid(SS) of surface water in May 1993.

영양염류

연구해역에서 상하 혼합기인 5월 초순에 영양염류 중 질산질소 농도는 2.21 μ g-at/l(0.23-4.27 μ g-at/l)이었다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 정점별 표·저층간 농도차는 수온과 염분처럼 미미한 변화가 아닌 약간의 차이는 나타나고 있다. 이는 수층에 존재하는 식물플랑크톤의 성장에 직접적인 관계가 있기 때문에 소모에 의한 영향으로 보아진다. 이러한 소모속도가 상하 혼합의 소모보다 크기 때문이라 생각되며 실제 chl.a 농도에서도 수층간 농도 변화는 잘 나타나 있다. 특히 표층수의 농도

제주도 서북방해역에서 혼합기와 성층기의 수질변동

가 낮은 것은 30m 수심에서 chl.a 농도가 높기 때문에 저층수에서의 표층으로 혼합에 의한 공급 중이 수심에서의 소모에 따른 상층으로의 공급이 낮아진 결과로 보여진다. 전 해역에서 농도차는 크게 나타나지 않아 정점간 농도차는 큰 차이가 나지 않고 있다.

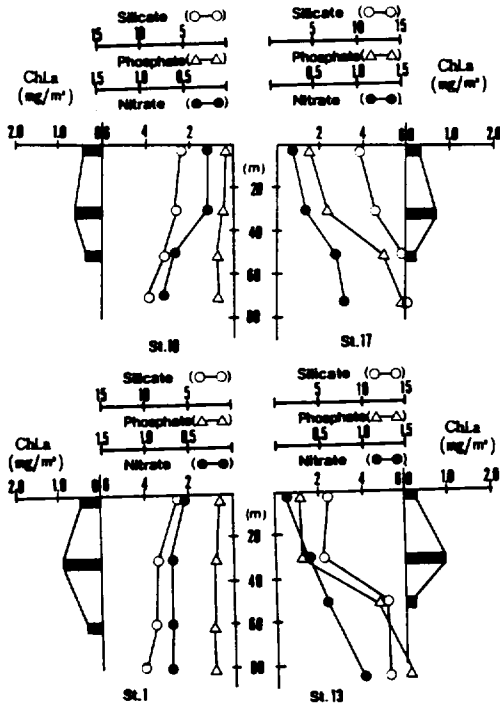


Fig.4. Seasonal variations of nitrate, phosphate, silicate and chl-a at Sts. 1 and 10(in May) and Sts. 13 and 17(in July).

인산인 농도는 $0.13\mu\text{g-at/l}$ ($0.02-0.44\mu\text{g-at/l}$)의 평균 농도를 보이고 있다. 해역별 농도 분포는 chl.a 농도가 높은 곳에서 인산인 농도가 낮은 값을 보이고 있는 것으로 나타나고 있다. 이는 소모에 의한 영향이 큰 것 같다. 표·저층간 인산인 농도 변화 폭도 일반적으로 각 정점내에서는 저층수의 농도가 표층수에서의 농도보다 훨씬 높았다(Fig. 4). 위와 같은 현상으로 볼 때 상하 혼합시 수온, 염분등 보존성 성분들의 값은 표·저층간 변동폭이 미비한 완전 혼합형을 보이나 비보존성 성분인 영양염류들은 수층에 존재하는 식물플랑크톤의 활

성도에 따라 저층에서 표층으로 혼합되는 과정에서 공급되어지는 량을 소모함에 따라 약간의 농도차를 보이고 있다.

규산 규소의 농도는 $5.94\mu\text{g-at/l}$ ($1.18-11.74\mu\text{g-at/l}$)의 평균 농도를 보이고 있다. 해역별로는 정점 8에서 정점 4와 5에 이르는 해역에서 상대적으로 낮은 농도인 $4\mu\text{g-at/l}$ 이하의 저농도가 존재하고 있었다. 이때의 chl.a 량도 다른 해역의 비하여 낮은 현상을 나타내고 있다. 정점별 표·저층간의 농도 변화는 저층수의 상대적 고농수가 표층으로 공급되어지는 현상을 볼 수 있으나 광합성 지역 수심에서의 농도 감소를 나타내고 있는 것은 식물플랑크톤의 소모에 의한 것으로 생각된다(Fig. 4).

혼합기인 5월초순의 영양염류 농도는 하계인 8월(김동, 1987; Yang et. all, 1990)의 농도보다 표층수에서는 질산질소는 3배 이상, 인산인과 규산 규소는 비슷한 농도, 저층수에서는 질산질소농도가 비슷한 농도, 인산인은 1/2정도로 낮은 농도, 규산규소는 약간 낮은 농도를 보이고 있다. 특히 혼합기의 영양염류 농도 중 질산질소 농도가 8월의 하계보다 표층수에서 매우 높은 반면 저층수에서의 인산인 농도는 반대로 매우 낮은 값을 보이고 있는 서로 상반되는 현상을 보이고 있다. 이는 질산질소의 저층수와 혼합에 의한 공급이 충분한 반면 인산인은 성층이 이루어진 8월달에 저층에서 용출되어진 양이 성층에 의한 표층으로의 확산이 잘 이루어지지 않을 영향으로 생각된다. 또한 $\Delta\text{N}/\Delta\text{P}$ 와 $\Delta\text{Si}/\Delta\text{P}$ 비는 표층, 50m이심층에까지 7-14, 32-36으로 거의 일정한 값을 보이고 있다. 이와 같이 모든 영양염류 농도 분포는 혼합기에 전 수층에서 균형적인 분포를 하고 있다고 보여진다. 이와 같은 영양염류비는 김 등의 제주도 서북방해역의 8월달 표층수층의 $\Delta\text{Si}/\Delta\text{P}$ 값인 11월 동해 표층수층의 16(Kido and Nishimura, 1973)보다도 높았다. 그러나 동해 중층수와 심층수층의 60-80(Kido and Nishimura, 1973) 및 태평양 심층수의 120(Tsunogai, 1972)보다도 낮았다. 이와 같이 중·심층수층의 $\Delta\text{Si}/\Delta\text{P}$ 의 비가 낮은 이유는 해양 생물체를 구성하고 있는 규소 조직이 인산염보다 훨씬 느리게 분해되기 때문이다(Tsunogai, 1972). 따라서, 제주도 북서쪽해역의 표층수는 동해 등의 해역보다 오래되지 않은 혼합이 잘 되고 있는 물이라 생각된다. 인산염과 규산염의 비는 7월 초순에 표층에서 저층수의 평균값이 14-32로 저층

최 영 찬

로 갈수록 낮은 값을 보이고 있다. 그러나 8월에는 표층이 11정도로 오히려 성층이 심화되면서 낮은 값을 보이고 있는데, 이는 저층수에서 확산되어져 나오는 인산인 성분이 식물플랑크톤의 소모보다 적어지고 있음을 뜻하고 있다.

— 엽록소-a의 분포

혼합기의 연구 해역에서의 엽록소-a의 농도 분포는 표층수에서 보다는 30m수심층에서가 높은 농도를 보이고 있었다. 표층수의 평균농도는 0.63 mg/m³, 30m층에서는 0.84mg/m³ 50m에서는 0.38 mg/m³로 대체적으로 50m수심 까지도 높은 농도를 보이고 있었다. 해역별로는 연구 해역 중 남쪽역 (st.1-5)에서가 아니라 북쪽역 (st.6-10)보다 상대적으로 높은 농도였다. 이와 같이 엽록소-a 농도 분포는 성층기인 하계 8월(Yang et.al,1990)의 0.5mg/m³의 값보다 표층수에서는 높게 나타나고 있어 풍부한 영양염 공급에 의한 식물플랑크톤의 성장조건이 양호하다는 걸 증명하고 있다고 생각된다(Fig. 4)

성층기의 수질

— 수온, 염분 및 밀도

7월초순에 Fig. 1의 정점 11에서 20까지에서 채수된 해수의 수층별 수온은 표층수온이 18.21-21.23°C, 30m수심에서는 13.64-16.25°C, 50m이심에서는 12.60-15.68°C로 수층간 수온차가 매우 컸다. 해역별로는 제주도에 가까운 해역의 정점 11에서 표층수온이 가장 높았으며 50m이심의 저층수온은 정점 14의 75m에서 12.60°C로 가장 낮은 수온을 나타내고 있다. 가장 낮은 저층수온을 나타내고 있는 곳은 표·저층간 수온차는 8°C이상을 나타내고 있어 표층수온의 급격한 상승을 보인 반면, 혼합기인 5월달 이 해역부근의 표층 수온 상승은 8°C, 저층수 수온은 11.90°C에서 0.7°C정도 밖에 높지 않음을 알 수 있다. 이와 같이 표층에서 30m수심까지 수온상승이 급격한 반면 50m이심에서의 수온상승폭이 미미하여 7월 초순부터 성층현상이 나타나고 있음을 알 수 있다(Fig. 4). 염분 농도는 33.45‰(31.72-34.17‰)의 평균 농도를 보이고 있었지만 정점별 표·저층간 농도차는 st.14에서 2.41‰

로 가장 큰 차를 보이고 있다. 이 지점은 7월달 조사 정점 중 중간지점에 해당하는 곳으로 서해, 남해로 흘러 들어가는 대마 난류와 우리나라 남해안 연안수와 중국 대륙 연안수의 확장 범위에 해당되는 지점역이라 생각된다. 이 지점의 표층수 농도 31.72‰는 7월달 조사 해역 중 최저값을 나타내는 지점이다. 모든 해역의 7월달 염분 농도는 5월달 혼합기때 보다 0.8‰이상 낮은 값을 보이고 있어 하계에 접어들면서 대마난류수의 북상 세력은 중국대륙 연안수, 우리나라 연안수, 황해 저층 냉수 영향권에 의하여 약화되고 있음을 알 수 있다. 성층기에 접어들면서 밀도분포(σ_t)도 보면 21.24-24.80의 범위를 나타내고 있어 그 변화폭이 대단히 크다. 특히 표층수의 밀도분포는 st.14에서 표층수의 21.24의 최대값과 저층수의 24.80의 최대값이 똑같이 나타나고 있어 이 정점이 본 연구해역에서 가장 특징있는 해역임을 알 수 있다. 이러한 밀도 분포값은 혼합기인 5월달의 평균값 24.89값과 비교해 보면 1.37정도 낮은 값을 보이고 있어 수온상승과 염분 하강에 따른 밀도 변화에 따른 따른 밀도약층 현상이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

이러한 수온, 염분 농도 분포는 본 연구해역에 황해 저층 냉수의 영향을 받는 8월(Yang et al, 1990)과 비교해 보면 표층 수온은 7월 초순에 20.4°C인 것이 8월에는 27.5~28°C까지 상승하는데 비하여 50m이심층에서는 7월 초순에 13.5°C인 것이 8월 초순에는 12~13°C로 큰 변화를 보이고 있지 않은 것으로 보아 표층수온 상승에 비하여 저층수온 상승은 오히려 황해 저층 냉수의 영향으로 변화가 나타나지 않고 있다. 염분농도는 7월 초순의 농도가 표층에서 32.39‰이지만 8월 초순에는 30.5‰로 2‰이상 낮아지고 있다. 밀도 분포는 표층에서 21.72이던 것이 8월에 접어들면서 저밀도수인 19.5이하의 수괴가 형성되고 있는 것으로 보아 외부 담수의 유입이 있음을 유추할 수 있다.

— 부유물질 및 휘발성 부유물질

7월에 접어들면서 해역이 성층현상에 따른 부유물질 농도 변화는 혼합기의 표·저층간 농도 변화 주 낮으며 농도 자체도 저농도인데 반하여 성층기의 7월달 농도는 이보다 높은 농도를 보이고 있었다. 평균 농도로는 6.38mg/l로 5월달 보다 4배 이

상의 농도였다. 해역별로 농도 특성을 잘 나타내지 않으나 표·저층간에는 저층수에서가 표층보다 높은 농도를 보이고 있어 성층에 따른 표층으로의 확산이 잘 이루어지지 않음을 알 수 있다. 또한 휘발성 부유물질량은 총 부유물질량의 40% 이상을 보이고 있으나 70m이심의 저층수에서는 30% 이하를 보이고 있지만 양적인 증가는 혼합기인 5월보다 훨씬 높은 농도를 보이고 있었다.

이와같이 총 부유물질중 휘발성 부유물질량의 비가 증가하고 있다는 것은 수중 식물 플랑크톤의 증가 보다는 혼합기에 성장했던 식물플랑크톤이 사멸에 의한 영향으로 보아지며, 실제 엽록소(chl. -a) 농도에서도 7월달 성층기 때의 농도가 5월 혼합기 때보다 더 낮은 것으로 잘 증명되고 있다.

- 영양염류

성층기에 접어든 7월달 초순의 연구해역의 영양염류 중 질산질소 농도는 평균 $2.21\mu\text{g-at/l}$ ($0.23-4.27\mu\text{g-at/l}$)였으며 해역별 농도차 보다는 각정점에서 표·저층간 농도차가 매우 크게 나타난 현상을 보이고 있다. 특히 수심이 90m이심을 보이고 있는 해역에서의 표·저층간 질산질소 농도 차는 7배 이상을 보인 반면 50m이내의 얕은 수심의 해역에서는 4배 정도의 차이를 보이고 있어 고농도의 영양염을 함유한 저층수가 표층수로의 확산이나 혼합을 성층현상에 의한 차단 효과를 나타내고 있는 반면 표층에서 30m수층까지의 영양염은 식물플랑크톤에 의한 소모로 농도가 매우 낮아지고 있음을 알 수 있다. 또한 혼합기인 5월 초순에는 전 수층에서 비교적 안정된 농도 분포를 보인 반면 성층기인 7월 초순에는 표·저층간 농도차가 크게 나타나고 있어 표층수의 영양염 고갈 현상을 보이고 있었다(Fig. 4).

인산인 농도는 평균 $0.89\mu\text{g-at/l}$ ($0.11-3.68\mu\text{g-at/l}$)로 비교적 높은 농도를 나타내고 있다. 특히 저층수의 고농도와 혼합기인 5월 초순 보다도 인산인 농도는 매우 고농도로 나타나고 있는데 이는 염분 농도 저하와 상대적으로 저층까지 수온 상승에 따른 지질에서의 용출현상이 현저함을 알 수 있는데, 실제 저층수에서의 농도는 5월달 보다도 매우 크게 나타나는 것으로 이를 뒷받침되고 있다(Fig. 4).

성층기인 7월 초순에 영양염류 중 질산질소의

낮은 농도에 비하여 인산인 농도 증가 현상으로부터 본 해역의 영양염류 제한 인자는 질산 질소임을 알 수 있다. 실제 $\Delta\text{N}/\Delta\text{P}$ 에서 보면 5월의 혼합기에는 12이하인데 반하여 성층기인 7월 초순에는 5이하를 나타내고 있는 것으로 잘 증명되고 있다.

규산 규소는 평균 농도가 $11.61\mu\text{g-at/l}$ ($5.42-21.74\mu\text{g-at/l}$)로 혼합기인 5월 초순보다 2배 이상 높은 농도 분포를 보이고 있다(Fig. 4). 이는 인산인 농도 경향처럼 저층에서의 고농도 해수가 표층으로의 확산이나 혼합과정이 잘 이루어지지 않고 있음을 뜻하고 있다고 생각된다. $\Delta\text{Si}/\Delta\text{P}$ 의 비는 혼합기에 평균 24정도인데 비하여 성층기인 7월 초순에는 34로 높아지고 이었다. $\Delta\text{Si}/\Delta\text{P}$ 비가 낮은 것은 혼합이나 확산이 잘 이루어진 결과라는 보고와 비교해 볼 때 혼합기인 5월달 값은 표·저층간 영양염류의 혼합도 잘 이루어지고 있다고 보아진다. 그러나 성층기에 접어들면서 저층수의 고농도수가 표층으로의 확산이 잘 이루어지지 않아 Si/P값이 높아진 결과이다.

성층기 초기인 7월 초순의 각 영양염 농도 분포는 8월의 본 연구해역 부근의 농도 분포(김동)와 비교해 보면 표층수에서는 질산 질소는 비슷한 농도였으나 인산인이나 규산 규소의 농도는 오히려 성층초기보다 성층이 이루어진 후인 8월의 농도가 높게 나타나고 있었다. 이러한 것으로 보아 이 해역의 영양염류 제한 인자는 질산 질소라 생각되어진다. 50m이심의 저층수에서도 질산 질소의 농도는 7월이나 8월 모두 비슷한 농도 분포였으나 인산인, 규산 규소 농도는 성층초기의 농도가 높음을 알 수 있다. 영양염 상호비인 $\Delta\text{N}/\Delta\text{P}$ 는 성층초기인 7월 초순에 표층에서 저층수까지 1~7인데 비하여 8월에는 4이상으로 성층초기의 인산염 농도가 높음을 알 수 있으며, 이러한 값은 일반의양수의 16(Redfield et al, 1963; Ryther and Dunstan, 1971)보다 훨씬 낮다. 이것으로 보아도 인산염보다 질산염이 식물 성장의 제한 요소로 작용하고 있음을 잘 증명해 주고 있다.

- 엽록소a

연구해역의 성층기에 접어들면서 엽록소-a농도 분포는 표층에서 0.31mg/m^3 , 30m층에서는 0.74mg/m^3 , 50m층에서 0.27mg/m^3 로 혼합기인 5월 초순의

농도보다 30m수심에서의 값을 제외하고는 표층과 50m층에서는 반값밖에 안되는 농도 분포였다. 이와같이 7월 초순의 성층기에 저층의 고농도 영양염류가 있지만 이러한 농도가 표층으로 잘 확산되지 않으므로 인한 표층수가 저영양 상태로 되어 식물플랑크톤 증식이 잘 이루어지지 못하는 결과로 생각된다(Fig. 4). 또한 이러한 엽록소-a 농도 분포는 8월에까지도 큰 농도 변화없이 지속되고 있는 것으로 보아 혼합기 이후의 식물플랑크톤 대량 증식은 하계에 나타나고 있지 않음을 알 수 있다.

요 약

제주도 서북방 해역에서 혼합기인 5월초순과 성층기 초기인 7월초순에 수질변동 특성을 밝히기 위하여 1993년 5월1일에서 3일까지와 7월2일에서 5일까지 각각 10개정점에서 표층에서 저층까지 채수하여 물리화학적 수질분석을 실시하여 그 결과를 나타내었다.

혼합기인 5월초순의 수온은 표·저층간 수온차가 1°C 이하, 염분은 0.1‰ 이하, σ_t 는 0.1이하의 미미한 차이를 나타내고 있었다. 성층기 초기인 7월초순에는 수온차 8°C 이상, 염분은 6‰ 이상, σ_t 는 3.6 이상의 차이를 나타내고 있어 물리적 인자의 표·저층간 값이 차이가 급격한 변화를 보이고 있다. 영양염류의 변동은 혼합기 때 보다 성층기에서 질산질소만이 표층에서 급격한 감소현상을 보인 반면 인산인, 규산규소는 오히려 성층때 농도가 높게 나타나고 있다. 이는 이해역이 질산질소가 식물플랑크톤의 성장에 제한인자로 작용하고 있다는걸 증명하고 있다. 또한 $\Delta N/\Delta P$ 와 $\Delta Si/\Delta P$ 범위에서도 혼합기때 7-14, 32-36 인데 비하여 성층기때는 2-3, 14-34로 질산질소성분이 부족함을 알 수 있다. 엽록소-a 농도는 혼합기때 표층, 30m, 50m 수심에서 0.62, 0.84, 0.42mg/m³로 성층기때의 0.31, 0.74, 0.27mg/m³보다 높은 농도를 나타내고 있어 저층의 풍부한 영양염이 표층으로 혼합되어지는 5월초순에 생물성장이 활발함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

金 坵·盧洪吉, 1982. 韓國南西海의 海流分布와 그 影響에 關한 研究. 서울大學校 自然科學大學, 未發表 技術報告.

盧洪吉, 1976. 濟州島 沿岸의 水溫鹽分變動에 關한 研究 - I. 濟州大學校 論文集(자연과학 편), 8, 115~122.

盧洪吉, 平野敏行, 1984. 濟州海峽 東쪽 入口에 出現하는 舌狀의 暖水. 韓國水產學會誌, 16, 299~304.

盧洪吉, 1985. 濟州島 周邊海域의 漁場環境에 關する 研究, 博士學位論文, 東京大學, pp.215.

朴吉淳, 1982. 濟州島 沿岸海水의 營養鹽類에 關한 研究. 韓國水產學會誌, 15, 255~262.

全得山, 高有峰, 1983. 濟州島 周邊海域의 Chlorophyll a含量分布. 濟州大學校 海洋資源研究報告, 7, 23~27.

金聲秀, 1987. 여름철 濟州島 周邊海域에 있어서 海水의 化學적특성에 關한 研究. 濟州大學校. 碩士學位論文.

APHA, AWWA, APCF, 1990. Standard methods for the examination of water and wastewater. 17th. American Public Health Association, U.S.A. pp. 417~463.

Dong, H. I., 1970. The drift bottle experiment in the Korea Strait during 1966-1969. Technical Rept. Hydrogr. off Korea, pp.85~97.

Kido, K. and M. Nishimura, 1973. Regeneration of silicate in the Ocean. I. The Japan Sea as a model of closed system. J. Oceanogr. Soc. Japan. 29, 185~192.

Lim, D. B., 1976. The movement of waters of the south coast of Korea. J. Oceanogr. Soc. Korea, 11, 77~88.

Miyazaki, M. and S. Abe, 1960. On the Water masses in the Tsushima current area. J. Oceanogr. Soc. Japan, 16, 59~68.

Nakao, T., 1977. Oceanic Variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. J. Fac. Mar. Sci. Tech., Tokyo Univ., Japan, Spec. No., 190~367.

Park, Y. H., 1985. Some important summer oceanographic phenomena in the East China Sea. J. Oceanogr. Soc. Korea, 20, 12~21.

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.

제주도 서북방해역에서 혼합기와 성층기의 수질변동

- Ryther, J. H. and W. M. Dunstan, 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the costal marine environment. *Science*, 171, 1008~1013.
- Strichland, J. D. H. and T. R. Parsons, 1968. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Bd. Canada, Bull. 167, Ottawa, Canada.
- Tsnogai, S., 1972. An estimation of the rate of decomposition of organic matter in deep water of the Pacific Ocean. In *Biological Oceanography of the Northern North Pacific Ocean Prof. S. Modea's Commemoration Volume*. p.517~533
- 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 influenceing in the surface distributidn of chlorophyll and nutrients in the southern sea of Korea in summer. *Bull. Korea Fish. Soc.* 23 (6), 417~424.