

1995년 6월 초순 제주해협과 대한해협 입구 해역에서의 해황 분석

최 영 찬
제주대학교 해양학과

Analysis of Oceanographic Condition in the Cheju Strait, the Korea Strait and the Mixed water area Between the two Regions in Early June in 1995

Young-Chan CHOI

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

The physical and chemical characteristics were examined in the southern sea of Korea including the Cheju Strait, and the entrance of the Korea Strait in the period of May 30 to June 8, 1995. The results are as follows.

Firstly, the variation ranges of the temperature and salinity at the Cheju Strait during 24 hours observation were larger in the surface layer than that in the deep layers.

Secondly, daily variations of nutrients show that total inorganic nitrogen, phosphate phosphorous, and silicate silicon concentration are higher at night than at day.

Thirdly, water temperature and salinity distributions show highest values at the entrance of Korea Strait, which is thought to be influenced directly by Tsushima Warm Current, while they show the lowest values in Cheju Strait. This means that the surface waters in Korea Strait are greatly influenced from the entrance of Korea Strait and bottom waters is greatly influenced from Cheju Strait.

Fourthly, nutrients distribution shows highest values in Korea Strait but dissolved oxygen shows lowest values in the area. These seem to be caused by the oxygen consumption used in the inorganization of nutrients to decompose organisms and the liquidation of nutrients.

Key words: Cheju Strait, Korea Strait, nutrients, Tsushima Warm Current, dissolved oxygen, oxygen consumption, inorganization

서 론

대한해협은 대마 난류, 한국 남해안 연안수, 북한 한류 수 등 각종 수괴가 존재하고 있으며 이 해협의 수질특성은 하계에는 고온, 저염의 현상을 나타내고 있다. 부산과 대마도 사이는 27마일의 좁은 수로로서 동중국해로부터 유입되는 쿠로시오 지류인 대마난류와 이보다 수온이 낮고 염분이 낮은 한국연안수 사이에 매년 연안전선이 형성되고 있다. 이러한 대한해협의 수괴에 관하여 Lim et al. (1969)은 쓰시마 난류수의 기원이 동중국해의 쿠로시오로부터 시작된다고 하였으며, Hong et. al (1983)은 동중국해의 쿠로시오 중층수인 고염수의 유입에 의한다고 하였다. 그리고 Park (1972)은 부산에서 일본의 下關간의 수온 염분 수직단면도에서 서수도에서는 수온이 높고 염분농도가 낮은 표층수, 염분농도가 가장 높은 중층수, 그리고 수온이 가장 낮은 저층수 등 3개의 수괴가 있다고 하였다. 이와 같이 대한해협에 관한 수괴 분석은 전반적으로 대마도를 중심으로 한 해역에서 이루어지고 있고 대한해협의 입구 해역인 제주도 동부 해역에 관한 연구는 적은 편이

다. 그러나 제주해협에서의 연구 결과 중 김 (1982), Rho and Kim (1983) 그리고 장 (1984)은 제주해협의 남부 (제주도로부터 12해리 이내)에 고온 고염의 난류가 연중 북동쪽으로 흐른다고 보고하였고, Rho (1985)는 황해 냉수괴가 기원인 저온수가 제주해협으로 유입한다고 하였다. 또한 김 (1986)은 여름철에 표층의 염분이 매우 낮은 중국 대륙 연안수가 제주해협을 통과하여 남해로 유입한다고 하였다. 또 다른 연구결과에 의하면 제주해협에서 대한해협으로의 유입유속은 10 cm/sec (김, 1979; 장, 1984; 해양연구소, 1987)로 이와 같은 해류가 남해에 지속적으로 존재한다면 제주해협을 통과한 해수는 한달 이내에 대한해협에도 달할 수 있다고 하였다. 또한 해수의 특성에서도 제주해협에서 김 (1982), Rho and Kim (1983), 김 (1986)의 연구결과와 해류자료들 (김, 1979; 장, 1984; 해양연구소, 1987)을 종합해 보면 남해의 해수가 상당한 크기로 동쪽으로 흐름을 시사하고 있기 때문에, 몇몇 연구의 결론에서 년중 남해연안수가 존재한다는 결과는 좀더 검토되어야 된다고 보아진다.

이러한 제주해협의 남해안수는 대한해협으로 유입되고

있음이 확실하다고 보아지므로 본 연구는 서로 특성이 다른 즉 제주해협수, 대마난류수인 대한해협 입구수가 제주도 동북방 해역에서 어떤 혼합 특성을 갖는가에 대하여 1995년 6월 초순의 물리·화학적 성분을 통하여 해황을 분석 규명하고자한다.

재료 및 방법

본 연구 해역은 Fig.1과 같이 제주도 북동쪽해역 8개 정점에서 표준 수심층을 채수하였으며, 특히 정점별 한번 채수하여 얻은 각 항목별 값의 24시간 중 어느 만큼의 대표 값을 갖는가를 규명하기 위하여 정점 1에서는 24시간 동안 4시간 간격으로 채수하여 수심별 변동 범위를 알아보았다. 또한 해역 구분은 정점 1과 2는 제주해협인 남해안 해역수, 4와 5는 대한해협 해역수 (제주해협과 대한해협의 입구역 해수의 혼합역), 7과 8은 대한해협 입구 해역수 (대마 난류수)으로 나누어 각성분을 비교 고찰하였다. 채수는 1995년 5월 30일부터 6월 8일까지 제주대학교 아라호를 이용하여 조사 관측되었다.

각 항목별 측정방법으로는 수온은 봉상 온도계와 CTD (SBE 19-03, USA)로 현장에서, 염분은 Salinometer (Tsurumi-SKI, E-2)와 CTD로 측정, 상호보정하였다. 염록소-a 농도는 Strickland and parson (1972)법으로, 영양염중 질산질소는 질산을 아질산으로 환원시켜 비색 정량하는 방법인 Cu-Cd 칼럼법 (APHA, AWWA, APEC)으로 암모니아 질소는 Phenol-hypochlorite method, 아질산질소는 NED method으로, 인산인은 Ascorbic Acid법 (Strickland and parson, 1972)에 의한 비색 정량법, 규산규소는 몰리브덴 청법 (APHA, AWWA, APEC)에 의해 비색정량하였다. 또한 용존산소는 현장에서 산소고정 후 윙클러 야지드화 변법 (水の分析, 日本分析化學會, 1985)으로 정량하였다.

결과 및 고찰

1. 24시간 연속관측 값의 변동

1) 수온, 염분

Fig.2는 st.1에서 24시간 동안 4시간 간격으로 측정된 수온, 염분의 수심별 최대 값과 최소 값의 범위와 평균 값의 연직 분포도이다. 수온은 표층에서 평균 16.11°C (15.53~17.38°C)로 변동폭이 1.8°C로 가장 크고, 30m 수심층에서는 14.60°C (14.40~14.91°C)로 변동폭은 0.5°C로 낮아지면서 90m 저층수에서는 13.06°C (12.94~13.29°C)로 변동폭은 0.4°C로 30m 이심층부터는 변동폭이 거의

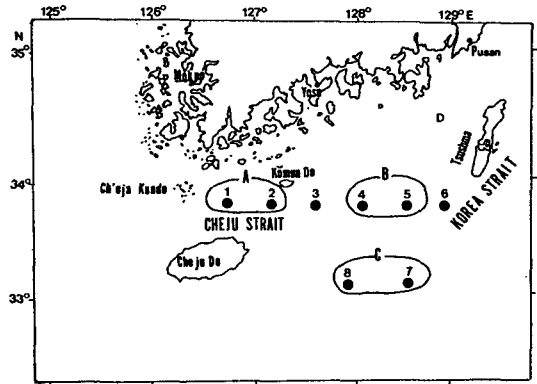


Fig. 1. The location of observation stations. The sea area are divided into three regions, region A of St. 1 and St. 2 which is located in Cheju Strait, region B of St. 4 and St. 5 is located between Cheju Strait and Korea Strait and region C of St. 7 and St. 8 in Korea Strait. Region A, B and C are thought to be influenced by the southern coastal waters, mixed waters between warm and coastal waters, and Tsushima Warm Waters, respectively.

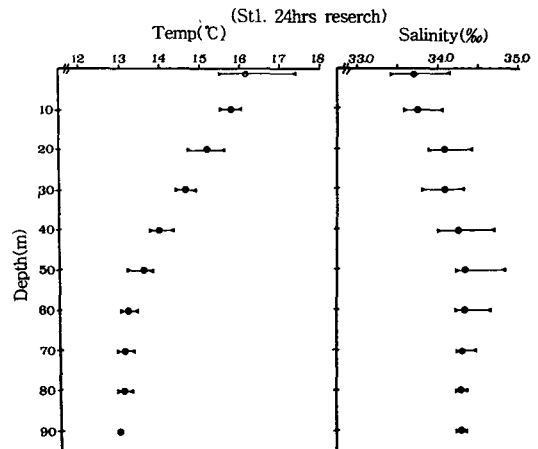


Fig. 2. Vertical distribution of largest, lowest and mean temperatures and salinities observed at Station 1 at the interval of 4 hours during 24 hours.

비슷한 양상을 나타내고 있다. 또한 수심별 수온 변동 중 최대 값은 30m까지 오후 2시경에, 최소 값은 오후 6시 30분에 나타나고 있어 대기의 기온영향권은 이 수심층까지 미치고 있다고 생각된다. 40m 이심층부터는 최대 값이 해질녘인 오후 6시 30분에 나타나고 있어 낮 동안의 표층 수온 상승의 열 전달이 40m층에서는 이보다 3~4시간 늦게 도달되고 있다고 생각된다.

이와 같이 한 정점에서의 일일중 어느 시간대에 수온 측정이 이루어지느냐는 해역의 해류, 조류에 의한 수심별

수온 변화 폭을 감안한 고찰이 필요하다고 생각된다.

염분의 연직 변화는 표층수의 표층수에서 평균 33.70‰ (33.46~34.13‰)로 변동 폭은 0.7‰로 컸지만, 중간 수심층인 40 m 수심 층에서도 34.27‰ (34.00~34.68‰), 50 m에서도 34.32‰ (34.19~34.78‰)로 변동폭은 0.6‰ 이상을 나타내고 있는 것으로 보아 해류나 조류의 흐름방향과 세기가 크다는 것을 알 수 있다. 염분의 변동폭이 미미한 수심 층은 70 m 이심층부터 평균 34.21‰ (34.17~34.29‰)로 변동폭은 0.2‰ 이하 였다. 또한 한 정점에서의 주야간 변동폭은 주간대 (10시 이후부터 저녁 6시 30분)와 야간대 (저녁 8시 이후부터 아침 6시 이전)의 수온분포는 표층에서 평균 16.30℃와 15.85℃, 10 m 수심 층에서도 15.77℃와 15.78℃, 30 m 수심 층에서는 14.61℃와 14.57℃, 60 m 층에서는 13.22℃와 13.21℃로 표층에서만 0.5℃ 정도 차이가 나고 있을 뿐 10 m 이심층부터는 미미한 변화만 보일 뿐 이었다.

염분은 주야간 평균값이 표층에서는 34.74‰와 33.65‰, 10 m 수심층에서는 33.80‰와 33.66‰, 30 m에서는 34.13‰와 33.97‰, 50 m에서 34.34‰와 34.20‰로 표층에서는 주간에서 1.1‰의 차이를 나타내고 있으며 10 m에서 50 m 수심층까지는 0.2‰, 70 m 이심층부터는 거의 변화가 없는 상태였다. 이와 같은 현상은 주간에 증발에 의한 영향이거나 다른 해류의 유입에 의한 영향인지를 좀더 구체적인 연구가 필요하다고 보아진다.

최대수온은 표층에서 (17.38℃), 최저 수온은 심층인 90 m에서 (12.94℃) 나타나고 있고 표·저층간 수온 차가 4.5℃로서 성층이 시작되고 있음을 알 수 있었다. 염분의 최대 값은 심층수에서 나타나지 않고 40~50 m에서 나타나고 있어 박 (1972)의 보고에 의한 염분농도가 가장 높은 수심층은 중층수라는 결과와 일치하고 있다.

2) 영양 염류

Fig.3은 St.1에서 24시간 동안 4시간 간격으로 측정된 영양염류의 수심별 변동 상황이다. 그림에서 보면 총 무기질소 (암모니아+아질산+질산질소)농도 범위는 1.089~7.758 μg-at/ℓ였으며 인산인은 0.121~1.208 μg-at/ℓ, 규산규소는 4.094~13.832 μg-at/ℓ였다. 주야간 변동 특징은 모든 영양염류가 표층에서는 주간 보다는 야간에 농도가 낮고, 수심별 표·저층간 농도 차의 변동 중에서는 총 무기질소는 최저인 2배 (2.369~4.699 μg-at/ℓ)와 최대인 3.8배 (2.040~7.758 μg-at/ℓ), 인산인은 최저가 1.8배 (0.403~0.725 μg-at/ℓ)와 최대는 10배 (0.121~1.208 μg-at/ℓ), 규산규소는 최저가 1.4배 (5.521~7.705 μg-at/ℓ)와 최대가 2.8배 (4.094~11.661 μg-at/ℓ). 수심별 농도 차의 변동 중에서는 규산규소가 가장 낮았다. 또한 같은 수심층에서 주야간 변동폭은

인산인이 미미한 변화밖에 나타나지 않고 있어 인산인은 안정된 상태라고 보아진다. 일일간 평균농도의 연직 상태를 보면 총 무기질소는 표층에서 1.84 μg·at/ℓ에서 90 m 저층에서 5.354 μg·at/ℓ로 3배정도의 고농도를 보이고 있으며, 수심이 깊어짐에 따라 총무기질소 농도가 높아지고 있다. 이와 같은 현상은 인산인 (0.0342~0.909 μg·at/ℓ), 규산규소 (5.597~9.791 μg·at/ℓ)등도 분포는 비슷한 양상이나 규산규소의 표층과 저층수의 농도는 양적으로 2배정도로 나타나는 것으로 보아 질소나 인이 표층에서의 소모가 더 빠르다는 것을 잘 보여주고 있다. 이와 같은 농도분포는 Yang et al. (1991)의 8월달 제주도 북쪽, 동쪽의 질산질소의 농도 보다 높으나 이는 본연구가 암모니아와 아질산

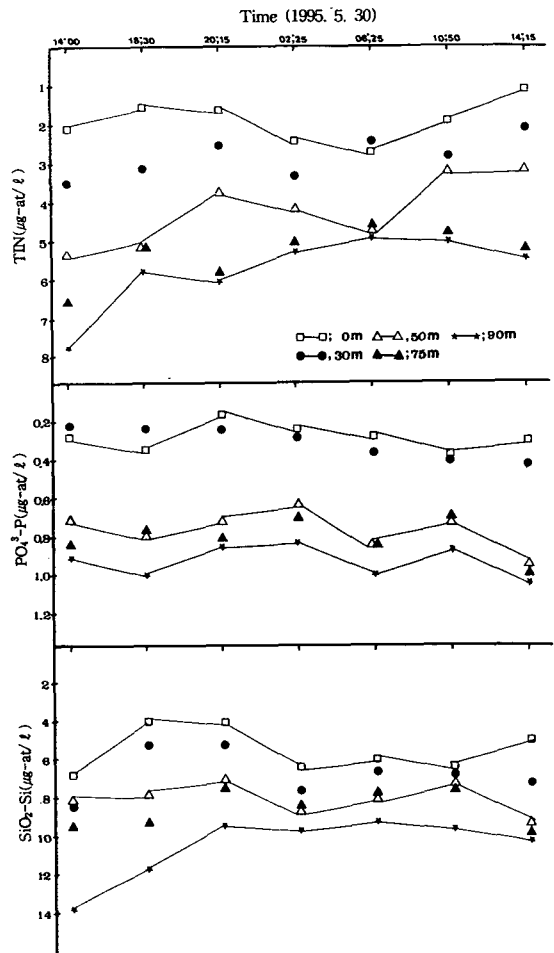


Fig. 3. Temporal concentration distribution of total inorganic nitrogen (top), phosphate phosphorous (middle) and silicate silicon (bottom) observed at Station 1 at the interval of 4 hours during 24 hours.

농도를 합한 것이므로 질산질소로만 비교한다면 비슷하다. 또한 N/P의 값으로는 7.3정도로 이는 동해안의 8월 값과 비슷하다. 이러한 값들은 6월 달의 남해안 해역의 질소 영양원이 소모가 빠르다는 것이다.

2. 해역별 특성

1) 수온, 염분, σ_t

Fig4에서 나타난 수온, 밀도 (σ_t), 염분의 분포 특성을 고려하여 본다면 St.1, 2, St.4, 5, St.7, 8로 구분할 수가 있다. 이와같은 분포특성으로 St.1과 St.2해역을 제주해협수 (A), St.7과 St.8의 해역을 대한해협 입구해수 (C), St.4와 St.5의 해역은 대한해협과 제주해협의 혼합수 (B)로 구분하여 고찰하고자 한다.

수온은 한국남해안 해역 (A)이 가장 낮았으며 (13.22~17.43°C) C해역이 (16.58~20.36°C) 가장 높았다. 이는 대마난류수의 영향을 직접 접하는 대한해협입구 해역해수가 고온수의 유입으로 높은 수온을 유지하고 있으나, 남해안수와 만나는 B해역에서는 (14.78~20.45°C) A해역보다는 높고 C해역보다는 낮은 혼합수해역임을 알 수 있다. 이 혼합해역에서는 표층수에서는 C해역 수온에 가까우나, 저층수에서는 남해안 해역인 A해역에 더 가까운 것으로 보인다. 이와 같은 결과로 표층수의 영향은 대마난류수, 저층수는 남해안 수의 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 σ_t 에서는 잘 보여주고 있다.

또한 수온 분포 특성으로는 A해역 st.1의 30m에서 50m 수심까지는 13.5°C~14°C, 50m 이심층에서는 13°C전후로 저층 냉수가 존재함을 알 수 있다. 조등 (1994)에 의하면 거문도를 중심으로 하여 동북방 해역에서는 80m 저층수에 6, 8월에 13°C이하의 해수가 16년 중 (1976~1985) 5년에 걸쳐 나타났으며, 14°C 이상은 매년 나타났

다고 한다. 그러나 조 등의 연구해역은 34°N에서 34°30'N과 127°E에서 128°30'E으로 본 연구 해역보다는 북동쪽에 위치한 해역이다. 이보다 남동쪽인 본 연구 해역은 수심이 90m 이상을 나타내는 곳이다. st.1에서는 14°C이하의 수심층은 40m~60m 수심층이고, 13°C 이하는 70m 이심층에 존재하므로 기존 연구결과인 거문도 북동부 해역의 저온수는 이보다 서남쪽해역에서 유입되고 있음을 알 수 있다. 그러나 st.1보다 동쪽 역인 st.2에서는 14°C 이상을 나타내고 있어 대한해협 입구수이 의한 영향으로 수온상승 효과를 나타내고 있다고 보아진다 (Fig4). 염분농도는 30m층까지의 표층수에서는 뚜렷한 구분을 지우기가 곤란하다. 40m이심층부터는 상대적 저염인 A, 혼합수인 B, 고염층인 대마난류수의 C해역으로 뚜렷한 구분이 이루어지고 있다.

염분농도 분포특성은 A해역 st.1 표층에서 10m까지 33.75‰ 이하, 20~30m에서는 34.1‰, 40m이 심층에서는 34.25‰로 구분되어지고 있다.

특히 표층수의 저염화와는 달리 40m 이심층에서부터 저층까지 일정한 염분농도를 유지하고 있어 같은 수괴가 이동되고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 조 등 (1994)의 보고에 의하면 제주해협의 북쪽 80m 저층수에 나타나는 14°C이하의 해수는 5월에 4월보다 더 많이 나타나며 대부분 34.0‰ 이하였으며 6월과 8월에 남해 저온수의 염분과 비슷한 값이라는 것과 본 연구의 거문도 서남쪽인 st.1에서의 6월 초순의 결과와 비교한다면 본 연구에서는 저층수가 34.25‰로 조등의 본 연구해역보다 북동쪽에서의 염분농도보다는 고염의 상태를 보여주고 있다.

또한 σ_t 값에서는 수온, 염분에서의 분포와 반대로 표층에서 저층까지 저가값인 C해역, 고 σ_t 값인 A해역, 중

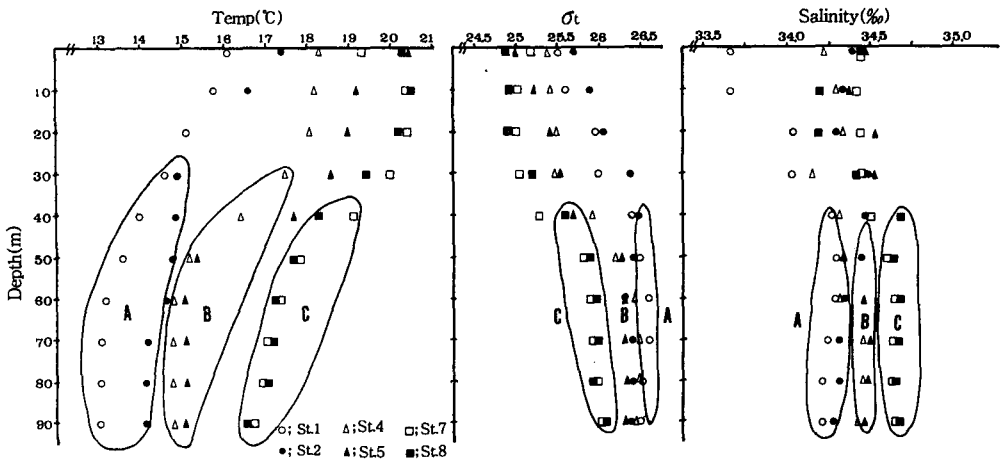


Fig. 4. Vertical distribution of temperature, density (σ_t) and salinity in three sea areas A, B and C.

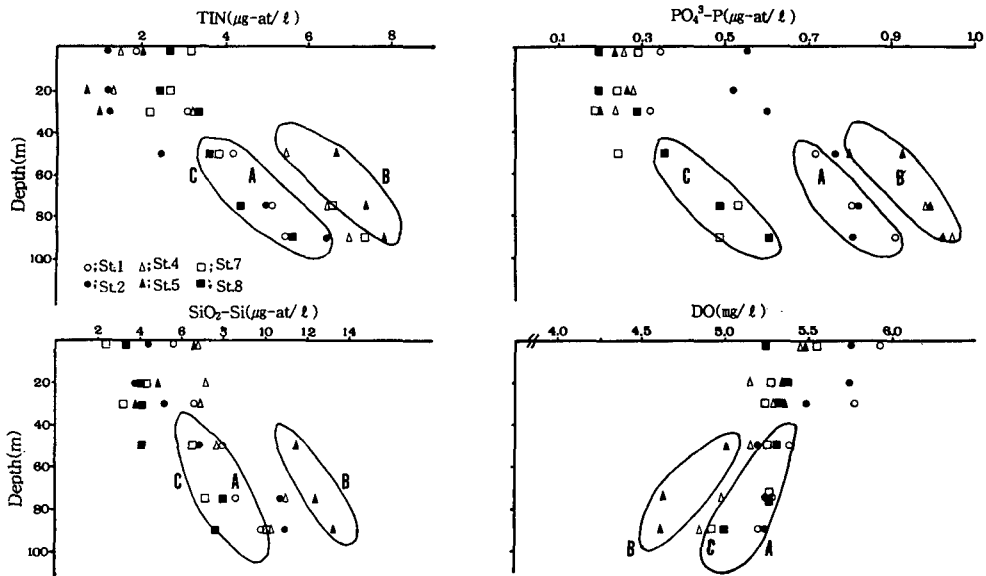


Fig. 5. Vertical distribution of total inorganic nitrogen (top left), phosphate phosphorous (top right) and silicate silicon (bottom left) and dissolved oxygen (bottom right) in three sea areas A, B and C.

간 혼합역인 B해역으로 뚜렷한 구분이 나타나고 있다. 이와같이 제주도 북방에서 동쪽인 대한해협으로 이어지는 해역의 6월 초순의 특성을 규명해 본다면 저온저염의 한국남해안수, 고온 고염의 대마난류수인 대한해협입구해역, 이들 두 수괴가 만나는 제주도 동북방 해역 등으로 나누어 질 수 있다. 특히 수온, 염분, σ_t 값에서 보면 표층에서 30m층, 40m 이심층으로 구분되어지는 값들이 뚜렷하게 나타나고 있으며, 이 시기는 성층 초기임을 알 수 있다.

2) 영양염류의 분포와 용존산소와의 관계

Fig. 5는 Fig. 4에서 구분하고 있는 각 해역별 영양염류와 용존산소의 연직 분포도이다.

Fig.5에서 보면 총 무기질소는 A해역이 $3.89 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$ ($1.076 \sim 6.474 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$), B해역은 $4.19 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$ ($0.692 \sim 7.813 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$), C해역은 $4.15 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$ ($2.207 \sim 7.470 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$)로 비슷하다. 이와 같은 농도 분포는 이 (1984) 등이 낙동강 유출수의 영향을 받는 해역의 $10 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$ 이상보다는 아주 낮은 농도이나 쓰시마 난류수의 동해 유입으로 인한 질산질소의 농도는 외양수에 국한되고 있음을 알 수 있다. 인산염의 농도분포는 질산 질소농도 분포와 비슷하다.

남해안 해역인 제주해협 (A해역)과 대마난류수 (C해역)의 혼합역인 B해역이 $0.673 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$ ($0.201 \sim 1.531 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$)로 A해역의 $0.650 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$, C해역의 $0.343 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$ ($0.201 \sim 0.604 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$)보다 높음을 알 수 있다.

총 무기질소는 30m층까지는 해역별 구분이 명확하지

않으나, 40m 이심층부터는 C해역, A해역, B해역으로 농도가 높음을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 인산염이나 규산규소에서는 잘 나타나고 있어 영양염류의 농도 분포 특성은 표층에서 30m층까지 구분할 수 없으나 40m 이심층부터는 해역구분이 가능함을 보여주고 있다. 여기서 저영양염인 C해역수와 이보다는 높은 A해역수가 만나는 B해역의 농도가 이보다 훨씬 높은 특성을 보이고 있다. 이와 같은 현상은 용존산소 농도 분포에서 설명되어 질 수 있다. 즉 용존산소 연직 분포에서 보면 고용존산소인 A해역수와 이보다는 낮지만 B해역보다 높은 C해역해수가 혼합되어지는 B해역수의 용존산소가 가장 낮게 나타나고 있다. 이것은 수중 유기물 분해에 이용되어져 무기화가 잘 이루어진 결과로써 영양염인 질소나 인, 규소 등은 무기성분은 증가하고 이에 따른 소모의 영향으로 용존산소 농도는 낮아진 결과로 볼 수 있다. 즉 한국남해안수는 이 계절에 동해로 유입하며 대한해협 입구역의 대마난류수와 혼합되면서 대마난류수보다 영양염이 풍부한 대한해협수가 형성되고 있다고 보아진다.

요 약

제주북방 남해안인 제주해협과, 동쪽인 대한해협 입구해역, 그리고 이들 해협수가 혼합되어지는 해역에 대하여 1995년 5월 30일부터 6월 8일까지 해수의 물리 화학적 특성을 규명하기 위하여 조사하였다.

1) 한 정점에서 24시간 관측에 의한 수심별 수온과 염분의 변동폭은 표층에서 1.8°C, 0.7‰의 최대 변동폭을 보이고 있으며, 이러한 변동폭은 30m에서 0.5°C, 0.5‰로 낮아지고 있다. 그러나 70m 이심층에서는 변화 폭이 아주 미미하여 주야간 변동은 표층에서 30m층까지 나타난다고 할 수 있다.

2) 영양염류의 24시간 변동폭은 총 무기질소, 인산인, 규산규소 등이 주간보다는 야간에서의 농도가 높은 특징을 보이고 있다.

3) 해역별 수온과 염분은 대마난류의 직접 영향원인 대한해협입구해역이 가장 높았으며, 제주북방 제주해협이 가장 낮았다. 또한 두 수괴가 혼합되어지는 대한해협은 표층수는 대한해협입구 해역수의 영향을, 저층수는 제주해협 저층으로부터 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있다.

4) 영양염류의 해역별 특성은 제주해협수와 대한해협입구해역수가 만나 혼합되어지는 대한해협에서 가장 높게 나타나고 있는데, 이는 용존산소가 가장 낮게 나타나고 있는 것으로 보아 유기물 분해에 의한 영양염 무기화에 따른 산소소모와 영양염 용출에 의한 영향으로 판단된다.

참 고 문 헌

- An, H. S. 1974. on the cold water mass around the Southeast of Korean peninsula, J. oceanol. SOC. Kor. 9 (1-2), 10~18
- APHA, AWWA, APEC, 1994. Standard methods for examination of water and wastewater, 18th ed.
- Cho, Y. K. and K. Kim. 1994. Characteristic and origin of the cold water in the South Sea of Korea in summer. J. oceanog. soc. Korea, 29 (4), 414~421.
- Hong, C. H. and K. D. Cho. 1983. The relationship between the characteristic of dissolved oxygen and the Tsushima Current in the Japan Sea in summer. Bull. Korean Fish. soc. 16 (3), 291~297.
- Lim, D. B. and S. D. Chang. 1969. on Coldwater mass in the Korea strait. J. Oceanol. Soc. Kor. 4 (2), 71~82.
- Lee, K. B. 1978. Study on the coastal cold water near Ulsan. J. oceanol. SOC. Kor. 13 (2), 5~10
- Lee, W. J. K. D. Dae and H. S. Choo. 1984. Chemical characteristics of water types in the Korea Strait. Bull. Korean Fish. soc. 17 (3), 219~229.
- Park, C. K. 1972. Hourly change of temperature and salinity in the Korea Strait. J. oceanog. soc. Korea. 7 (1), 15~18.
- Rho, H. G., 1985. Studies on marine environment of fishing ground in the water around Jeju Island, ph.d. Hesis. Tokyo university, 215pp.
- Rho, H. K. and K. Kim. 1983. Variations of sea surface temperature between Jeju and Mogpo and between Jeju and Wando. J. oceanog. soc. Korea. 18 (1), 64~72.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons, 1968, A practical handbook of seawater analysis. Fish. Rec. Bd. Canada, Bull, 167, Ottawa, Canada.
- Yang, H. S., S. S. Kim, C. G. Kang and K. D. Cho. 1991. A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea Peninsula, III. chemical characteristics of water masses in the Polar Front Area of the Central Korean East Sea. Bull. Korean Fish. soc. 24 (3), 185~192.
- 김 구, 1982. 한국 남서해의 해류 분포와 그 영향에 관한 연구. 한국과학재단 연구보고, 29pp.
- 김복기, 1979, 제주해협내 해류에 관한 연구, 국립 수산진흥원 연구 교보, 25 : 7~16.
- 김인옥, 1986. 제주도 주변 해역에 출현하는 중국 대륙 연안수에 관한 연구. 제주대학교 대학원 석사학위 논문, 46 pp.
- 장경일, 1984. 제주해협내 해류의 구조와 역학, 서울대학교 대학원 석사 학위 논문 62pp.
- 해양연구소, 1987. 한국해역 종합 해양자원도 작성연구, 남해(예비조사), 357pp.
- 日本分析化學會北海道支部, 1985.水の分析, 日本, p198~201.

1997년 12월 10일 접수

1998년 3월 12일 수리