

## 韓半島 近海의 海流와 海水特性

### III. 韓國 東海 中部 極前線域에 出現하는 水塊의 化學的 特性

梁漢燮 · 金聲秀 · 姜昌根\* · 曹圭大  
釜山水產大學校 海洋學科 · \*國立水產振興院

## 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

Han-Soeb YANG · Seong-Soo KIM · Chang-Geun KANG\* and Kyu-Dae CHO  
*Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan*  
*Pusan, Korea 608-737*  
*\*National Fisheries Research and Development Agency,*  
*Yongsan, Korea 626-900*

The vertical distribution and chemical characteristics of water masses were measured along two south-north transects in the polar front region of the central Korean East Sea.

In February, a thermocline was present at depth between 50 m and 100 m at the southern sites of a landward A-transect, and its depth was gradually deepened northward. At an outside B-transect, a thermocline was observed at significantly deep depth of 300 m to 400 m at two northern stations (Stn. 10 and 11), though the depth of the southward stations was nearly identical to that at the northward stations on a A-transect.

In September, there were vertically more various water masses, i.e. the Tsushima Warm Surface Water (TWSW) of more than 20°C, the Tsushima Middle Water (TMW) with a range of 12~17°C, the North Korea Cold Water (NKCW) with 1~7°C temperature, the Japan Sea Proper Water (JSPW) of less than 1°C, and the mixed water. The North Korea Cold Water could be distinguishable from the other waters, especially from the mixed water of the Tsushima Middle Water and the Japan Sea Proper Water by the pattern of T-O<sub>2</sub> diagram. For instance, the North Korea Cold Water had higher oxygen by 1~2 ml/l than those in the mixed water, although both the two water masses ranged 1~7°C in water temperature.

AOU value was the highest in the JSPW and the lowest in the TWSW. Also, AOU indicated a nearly linear and negative correlation with water temperature. However, AOU data for two masses, the NKCW and the TMW, in September departed remarkably from a regression line. Moreover, the ratio of ( $\Delta P/\Delta AOU$ ) in September was about 0.45  $\mu\text{g-at/ml}$  and higher than the value observed in the open sea. This high value could be elucidated by two factors; intrusion of the NKCW with high oxygen and molecular diffusion of dissolved oxygen from the surface into the lower layer. AOU would be a useful tracer for water masses in the polar front area of the Korean East Sea.

\* 본 연구는 1988년도 한국과학재단 목적기초 연구비의 지원에 의한 것임.

## 緒 論

韓國 東海는 평균수심이 약 1,500 m로 비교적 수심이 깊으나, 반폐쇄적인 해양특성을 갖고, 몇개의 서로 다른 수괴가 수직적으로 분포하고 있는 해역이다. 특히, 1°C 이하의 東海固有水가 동해 전 체적의 약 90%를 차지하고 있으며(Yasui et al., 1967), 그 상부수층에는 대한해협으로부터 유입되는 對馬暖流水와 동해연안을 따라 남하하는 北韓寒流水가 나타나며, 이 수괴들의 분포는 시공간적 변화를 보인다(Gong and Son, 1982). 또한, 對馬暖流의 지류인 東韓暖流는 우리나라 동해안을 따라 북상하면서 중·저층의 東海固有冷水나 北韓寒流水와 접촉하여 수직적으로 약층을 이루고, 수평적으로는 極前線을 이룬다(Gong and Park, 1969). 그리고 이 東韓暖流는 전형적인 西部境界流로서 이 난류의 선단부나 유로주위에서는 전선이 형성되고 있으며, 이러한 極前線은 매년 형성되나 그 구조나 위치는 년별, 계절별로 변화한다고 알려져 있다(Uda, 1938; An and Chung, 1982; Gong and Son, 1982). 이들의 보고에 의하면, 극전선의 분포형태는 매우 복잡하지만, 크게 세가지 유형으로 구분된다. 즉, 연안쪽에 냉수괴를 끼고 연안에 평형하게 형성되는 전선과 위도 약 36° N 선의 동서방향으로 형성되는 전선, 그리고 냉수괴와 난수괴의 이상발달로 형성되며, 불규칙하게 분포하는 전선으로 대별하고 있다. 한편, 동해에서 해수의 화학적특성에 관한 연구로는, Park(1978)이 磷酸鹽과 溶存酸素의 관계로부터 냉수괴의 생성기구를 설명하였으며, Kido and Nishimura(1973)는 營養鹽類와 AOU의 관계로부터 東海固有水의 화학적특성에 대해 보고한 바 있다. 최근 Chung et al.(1989)은 基礎生産力과 질소계 營養鹽類의 再循環에 대해 보고하였으며, Shim et al.(1989)은 동해 남부에서 窒酸鹽躍層의 분포에 대해 고찰한 바 있다. 그러나, 동해 極前線域에 있어서 溶存酸素와 營養鹽類의 수직농도분포특성에 대한 보고는 거의 없다.

본 연구는 極前線이 형성되는 동해 중부연안해역에 있어서 동계와 하계에 각종 수괴의 수직적 분포와 이 수괴들의 화학적 특성 및 변화에 대해 고찰하였다.

## 材料 및 方法

1989년 2월과 9월 2회에 걸쳐 매년 極前線이 형성된다고 알려져 있는 37° 03' N~38° 12' N의 동

해 중부해역에서 國立水産振興院의 4개 정선(104선~107선)의 정점 05와 07점을 남북으로 연결한 2개의 단면(Fig. 1)에서 해양조사를 실시하였다. 수온은 현장에서 CTD로 측정하였으며, 염분은 채수 후 실험실에서 鹽分計(salinometer)로 측정하였다. 용존산소는 현장에서 고정 후 실험실에서 Winkler-Azide변법으로 측정하였으며, 營養鹽類중 磷酸鹽은 Vitamine-C법, 窒酸鹽은 Cu-Cd 환원법으로 比色定量 하였다(Strickland and Parsons, 1972).

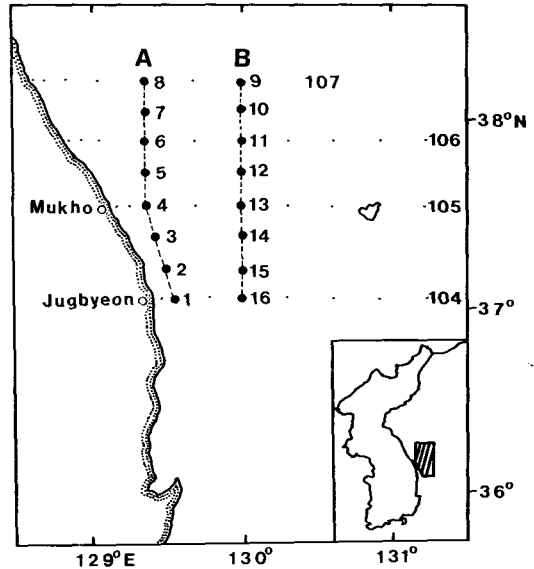


Fig. 1. Location of the sampling stations on two oceanographical transects, of A and B.

## 結果 및 考察

### 1. 水塊의 垂直分布特性

본 연구해역에서 각종 수괴의 수직적 분포특성을 알아보기 위해 동계와 하계에 두 단면에 대한 수온의 垂直分布圖를 Fig. 2에 나타내었다.

2월에 연안쪽에 위치한 A 단면에서는 3~10°C 범위의 水溫躍層이 정점 4를 경계로 남쪽정점들에서는 50~125 m 사이의 수층에 존재하고 있으나, 북쪽정점들에서는 보다 더 깊은 125~200 m 사이의 수층에 존재하고 있다. 그러나, 이 약층의 상부에는 10°C 이상의 對馬暖流水가 분포하고 있으며, 수심이 낮은 남쪽정점들을 제외하면 대체적으로 300 m 이심층에 1°C 이하의 東海固有水가 존재하고 있다. A단면 보다 약간 바깥쪽의 B단면에서도 정점 13을 경계로 2~9°C 범위의 水溫躍層이 남쪽정점들

에서는 125~200 m 수층에 존재하고 있으나, 북쪽으로 갈수록 현저하게 깊어져서 정점 10과 11에서는 300~400 m 수층에 존재하며, 가장 북쪽의 정점 9에서는 약간 상승하는 경향이다. 이 약층의 상부에는 A 단면과 마찬가지로 북쪽정점들에서 비교적 깊은 수층(150~300 m)에 9.07~9.56℃ 범위의 비교적 고온의 對馬暖流水가 존재하고 있다.

9월에는 정점에 따라 다소의 차이는 있으나, 두 단면 모두 季節水溫躍層이 대체적으로 10~30 m 수층에 존재하고 있으며, 이 약층의 상부에는 수온 22.2~24.8℃ 범위의 對馬暖流表層水가 분포하고 있다. 또한 수온이 12~17℃ 범위를 갖는 對馬暖流中

層水가 A 단면의 북쪽정점들에서는 30~50 m 사이의 수층에 존재하고 있으나, 남쪽정점들에서는 季節水溫躍層과 구분되지 않는다. B 단면 역시 對馬暖流中層水는 남쪽정점들에서 30~75 m 수층에 분포하고 있으나, 북쪽정점들에서는 수심 30 m 전후에 존재한다. 그리고, B 단면의 북쪽 정점들에서 1℃ 이하의 東海固有水는 2월에 비해 훨씬 상부수층(약 200 m)에 나타난다.

한편, 염분은 2월의 경우 34.02~34.48‰로 정점별 차이는 다소 있으나, 대체적으로 9℃ 이상의 고온수가 분포하는 상부수층에서는 34.20‰ 이상으로 對馬暖流水의 염분범위를 보인다. 그러나, 8℃이

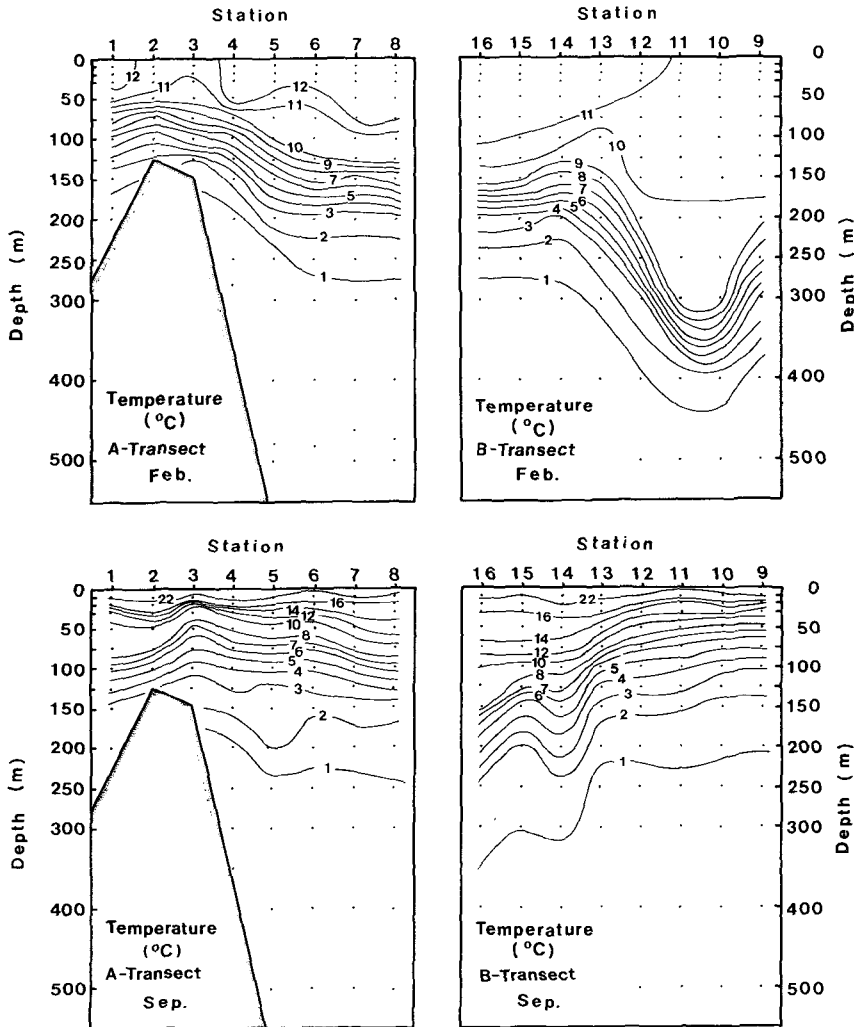


Fig. 2. Vertical profiles of temperature along A-transect and B-transect in February and September 1989.

하에서는 수온이 감소함에 따라 염분농도가 낮아지는 경향을 보이지만, Kim and Kim(1983)이 정의한 北韓寒流水의 염분특성치인 34.00‰ 이하의 저염수는 나타나지 않았다. 9월에는 水溫躍層 상부에 분포하고 있는 32.75~33.98‰ 범위의 對馬暖流表層水を 제외하면, 염분범위와 그 분포경향이 2월과 비슷하다.

## 2. 各 水塊의 海洋化學의 特性

본 연구의 결과와 이미 보고된 하계 동해에 존재하는 각종 수괴들의 물리·화학적 특성치를 요약하면 표 1과 같다. 對馬暖流表層水和 中層水는 수온과 염분으로 뚜렷이 구분되나, 北韓寒流水와 東海固有水의 염분값은 거의 같은 범위로 두 수괴의 구별이 불가능하다. 그러나, Park(1978; 1979)과 Kim and Kim(1983) 등은 溶存酸素 농도로부터 위 두 수괴를 구분하였다. 이들 특성치와 본 연구결과를 비교해 보면, 2월의 경우 두 단면에서 北韓寒流水의 수온범위(1~7℃)에서는 염분이 34.10‰ 이상이고, 溶存酸素 농도가 5.9 ml/l 이하로 北韓寒流水의 특성치에 비해 염분이 다소 높고, 溶存酸素量이 낮은 것으로 보아 北韓寒流水系統의 수괴는 나타나지 않는 것으로 사료된다.

한편, 9월의 경우 T-S diagram(Fig. 3)으로부터 알 수 있듯이 對馬暖流表層水(수온:20℃이상, 염분:33.80‰ 이하)와 對馬暖流中層水(수온:12~17℃, 염분:34.30‰ 이상)는 뚜렷이 구분되나, 對馬暖流中層

水의 수온범위가 이미 보고된 값보다 1~2℃ 낮다. 그리고, 1~7℃의 수온범위에서는 염분이 34.06~34.30‰ 범위로 이미 보고된 北韓寒流水의 염분특성치 보다는 다소 높은 값을 보이며, 특히 Kim and Kim(1983)이 정의한 34.00‰ 이하의 저염수는 나타나지 않고 있다. 그러나 T-O<sub>2</sub> diagram(Fig. 3)은 東海固有水, 北韓寒流水, 對馬暖流水 및 그 혼합수괴를 보다 더 잘 구분할 수 있다. 즉, 對馬暖流表層水의 溶存酸素濃度は 5.05~5.48 ml/l이고, 對馬暖流中層水는 4.40~5.00 ml/l로 가장 낮으며, 수온 1℃ 이하의 東海固有水는 5.40~5.90 ml/l로 Park(1978; 1979)이 정의한 각 수괴들의 용존산소 특성치와 비슷하다. 그러나, 1~7℃의 수온범위에서는 6.00~6.45 ml/l 범위로 가장 높은 溶存酸素含量을 보이는 수괴가 나타나는데, 이 수괴는 Park(1978; 1979)과 Kim and Kim(1983) 등이 보고한 北韓寒流水의 용존산소농도 보다는 다소 낮지만, 1℃ 이하의 東海固有水 보다 높은 용존산소 값을 보인다. 이는 아마도 풍부한 용존산소를 함유한 北韓寒流水가 남하하면서 상하층에 존재하며 보다 낮은 용존산소를 갖는 對馬暖流中層水 혹은 東海固有水와 혼합되기 때문이라고 사료된다.

이상의 결과로부터, 9월에 두 단면에 나타나는 각종 수괴의 수직분포도를 Fig. 4에 나타내었다. 이를테면, 두 단면 모두 정점에 따라 다소의 차이는 있으나, 대체적으로 20m 상부수층에는 對馬暖流表層水가 존재하고, 그 바로 아래의 20~50m 수층

Table 1. Distinctive values of temperature, salinity and dissolved oxygen for water masses in the central region of the Korean East Sea.

Water mass	Temperature(℃)	Salinity(‰)	DO(ml/l)	Reference
TSW (Tsushima Surface Water)	>20	<33.80	5.00~5.50	Park(1978)
	>20	<33.80	5.05~5.45	This work
TMW (Tsushima Middle Water)	14~17	34.30~34.60	4.20~4.70	Park(1978; 1979)
	13~17	34.20~34.40	5.00~5.50	Kim and Kim(1983)
	12~17	34.30~34.50	4.30~5.00	This work
NKCW (North Korea Cold Water)	1~ 7	33.95~34.10		Gong and Park(1969)
	0.2~ 4	34.00~34.05	6.50~7.50	Park(1978; 1979)
	1~ 6	<34.00	>6.80	Kim and Kim(1983)
	1~ 7	34.06~34.20	6.00~6.45	This work
JSPW (Japan Sea Proper Water)	0~ 1	33.96~34.10	5.20~6.00	Park(1978; 1979)
	0~ 1	34.00~34.05	5.50~6.50	Kim and Kim(1983)
	<1	34.02~34.16	5.40~5.90	This work

사이에는 對馬暖流中層水가 나타난다. 특히, B단면의 남쪽정점들에서는 수심 약 100m까지 對馬暖流中層水가 존재하며, 북쪽으로 갈수록 그 존재수심이 얕아진다. 또한, 溶存酸素 6.0 ml/l 이상의 北韓寒流水 계통의 수괴는 A단면의 경우 정점 3 북쪽에, B단면의 경우는 정점 12의 북쪽에 나타나며, 그 분포수심은 대체적으로 75~150m 사이이다. 그리고, 東海固有水는 B단면의 남쪽에서는 동계와 비

슷한 300m 이심층에 존재하고 있으나, 그밖의 정점들에서는 대체적으로 200~250m 이심층에 존재하는 것으로 추정된다.

3. 成分相互間的 相關性

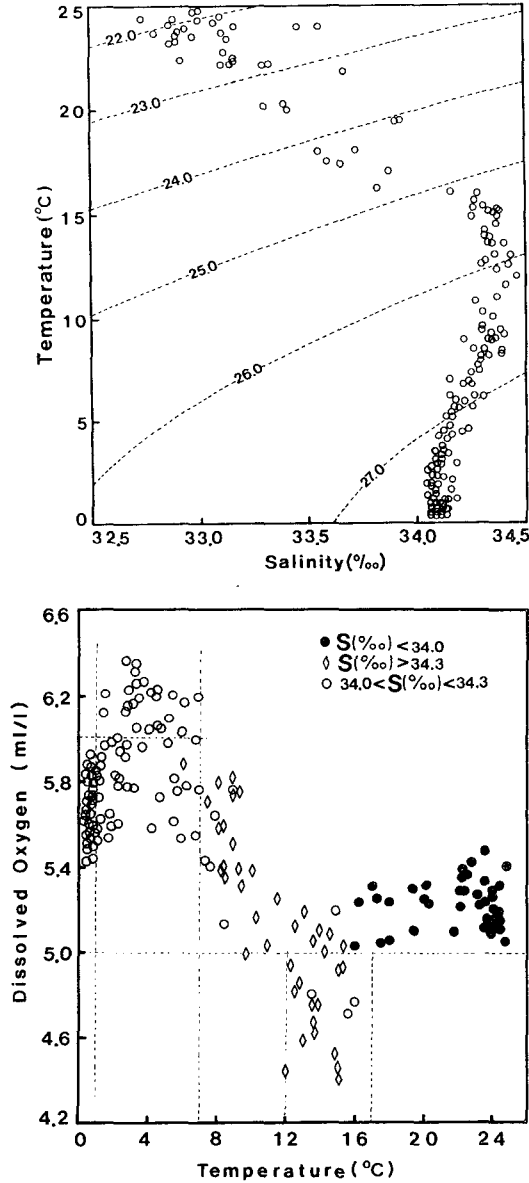


Fig. 3. Diagrams of T-S and T-O<sub>2</sub> for all the stations on the two transects in September.

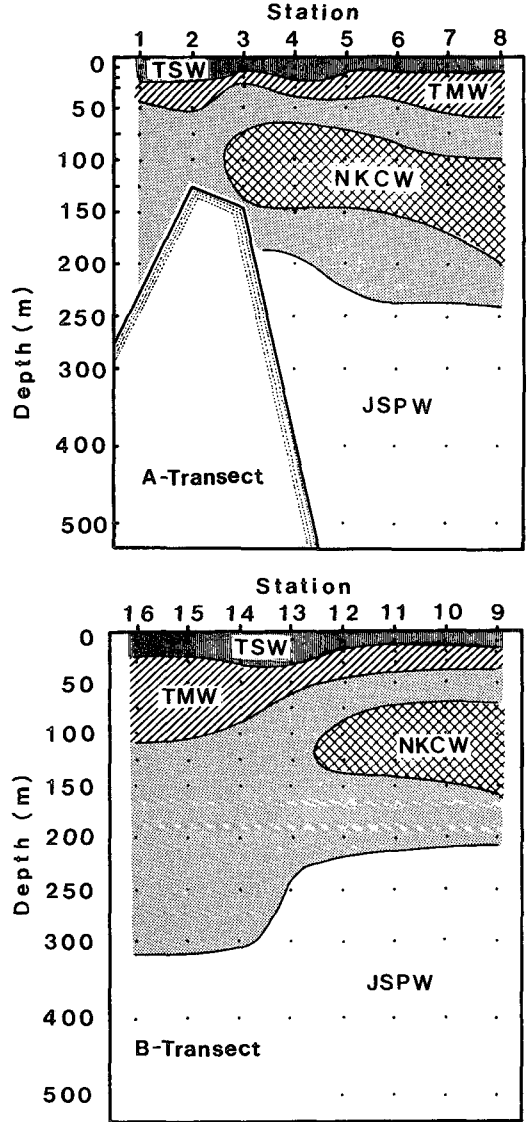


Fig. 4. A schematic diagram of water mass distribution along the A-transect and B-transect in September. Water masses are denoted as an abbreviation: TSW(Tsushima Surface Water); TMW(Tsushima Middle Water); NKCW(North Korea Cold Water); JSPW(Japan Sea Proper Water).

수온과 AOU의 관계(Fig. 5)를 보면, 2월의 경우 두 성분사이에는 비교적 좋은 역의 직선관계를 나타내고 있으며, 수온이 10°C 이상인 對馬暖流水에서는 AOU값이  $-0.2 \sim +0.3 \text{ ml/l}$  범위로 가장 낮은 값을 보인 반면 1°C 이하의 東海固有水는 1.9~2.6 ml/l 범위로 가장 높은 값을 나타내며, 水溫躍層내의 AOU 값은 위 두 수괴를 연결하는 직선상에 거의 분포한다. 이와 같이, AOU값이 수온과 좋은 역의 상관성을 보이는 것으로 보아 동계 동해중부해역에 있어서 AOU의 수직농도분포는 생물·화학적과정 보다는 물리적인 수직혼합과정에 의해 거

의 지배된다고 하겠다. 한편, 9월에는 2월에 비해 다소 분산이 심하지만, 대체적으로 AOU는 수온과 역의 직선관계이다. 즉, 對馬暖流表層水の AOU값이 가장 낮고, 1°C 이하의 東海固有水가 가장 높은 값을 나타낸다. 또한, 12~16°C의 수온범위에서 상관직선에서 다소 윗쪽에 분포하는데, 대부분 溶存酸素농도가 낮은 對馬暖流中層水이다. 또한 2~9°C의 수온범위에서 대부분의 자료들이 이 직선 보다 아래쪽에 분포하며, 이는 앞서 언급한 바와 같이 溶存酸素 값이 높은 北韓寒流水 계통의 수괴이다.

磷酸鹽과 AOU의 관계(Fig. 6)는, 동계의 경우 대체적으로 東海固有水와 1~9°C 범위의 水溫躍層에서는 거의 직선관계이나, 對馬暖流水는 약간 벗어난다. 이 직선의 기울기( $\Delta P/\Delta AOU$ )는  $1/2.4 \sim 1/2.7 \mu\text{g-at/ml}$ 로 일반의양수중의  $1/3 \mu\text{g-at/ml}$  (Sugiura, 1969; Stefansson and Atkinson, 1971)이

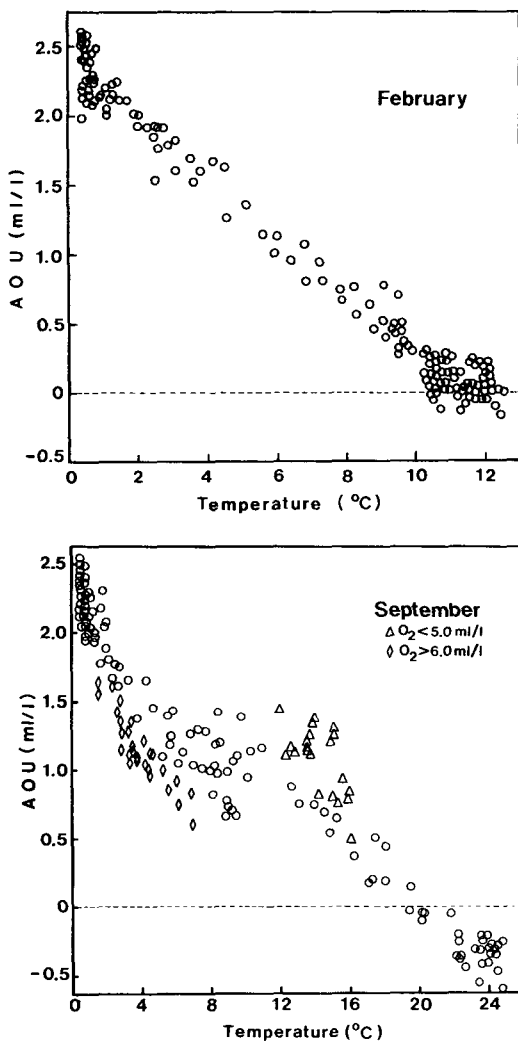


Fig. 5. Plots of AOU against temperature in February and September.

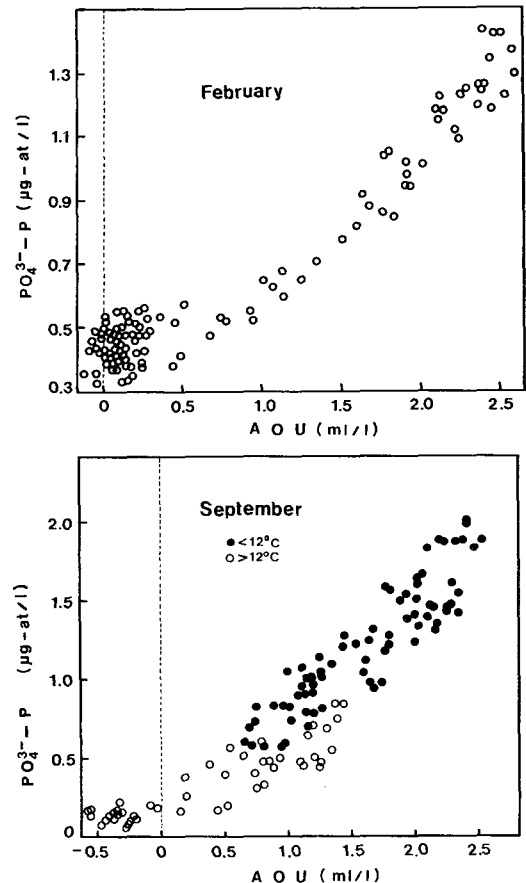


Fig. 6. Plots of phosphate against AOU in February and September.

나, 동해 중·저층수층의 값(Kido and Nishimura, 1973)보다 약간 낮다. 이는 동계에 수온의 하강으로 대기로부터 충분히 공급된 표층수층 용存酸素가 아래층으로 분자확산하고 따라서 AOU값이 낮아지기 때문이라 해석할 수 있다. 한편, 9월에는 2월에 비해 분산이 훨씬 심하지만, 대체적으로 수온이 12°C 이상인 對馬暖流表·中層수에서는 일반 외양수에서의 기울기 값과 비슷하다. 그러나, 北韓寒流계통의 해수와 혼합수괴의 그 기울기 값이 상부수층에 비해 다소 낮다. 그 이유로서는 앞서와는 반대로 용存酸素가 비교적 풍부한 北韓寒流水가 남하확장하면서 비교적 저산소의 수괴(對馬暖流中層水 혹은 東海固有水)와의 혼합에 의한 AOU의 증가를 들 수 있다.

磷酸鹽과 窒酸鹽의 관계(Fig. 7)는 2월과 9월 모두 좋은 정의 직선관계를 보이나, 기울기( $\Delta N/\Delta P$ )는 다소 다르다. 즉, 2월은 기울기가 9.8이고, 9월은 12.1로 다소 차이가 있다. 이것은 앞서 언급한 바와 같이 수직혼합에 따른 차이라고 생각된다. 그러나, 9월의  $\Delta N/\Delta P$ 비 값은 지금까지 동해에서 보고된 12.5~13.6(Kido and Nishimura, 1973; Chung et al., 1989; Shim et al., 1989)과 생물생산력이 높은 배양해에서의 12.5(Tsunogai et al., 1979)와 비슷하다.

### 要 約

東海 中部 極前線域에 있어서 동계와 하계에 각종 수괴의 수직분포특성과 이 수괴들의 화학적 성질에 대해 연구하였다. 동계의 경우, 水溫躍層은 북쪽 바깥 정점들이 남쪽 연안 정점들에 비해 더 깊은 수층에 존재하고, 이躍層의 상부에는 對馬暖流水가, 하부수층에는 東海固有水가 분포하고 있다. 그러나, 하계에는 수직적으로 對馬暖流表層水, 中層水, 北韓寒流水 및 東海固有水가 분포하고, 東海固有水는 동계보다 다소 상부수층에 존재한다. 하계에 T-S diagram으로는 北韓寒流水 계통의 수괴, 對馬暖流 中層水 및 東海固有水의 혼합수를 구분할 수 없었으나, T-O<sub>2</sub> diagram으로는 구분이 가능했다. 한편, 동계 수온과 AOU는 좋은 역의 직선관계를 보이며, AOU의 수직분포는 생물·화학적 과정정보보다는 주로 물리적 혼합과정에 의해 결정됨을 시사한다. 하계에는 對馬暖流 表層水에서 AOU값이 가장 낮고, 東海固有水에서 가장 높으며, 北韓寒流水 및 對馬暖流 中層水の AOU값은 위 두수괴 사이의 값을 보인다. 그러나, 北韓寒流水塊의 해수는 對馬暖流 中層水보다 용存酸素 농도가 약 1~2 ml/l

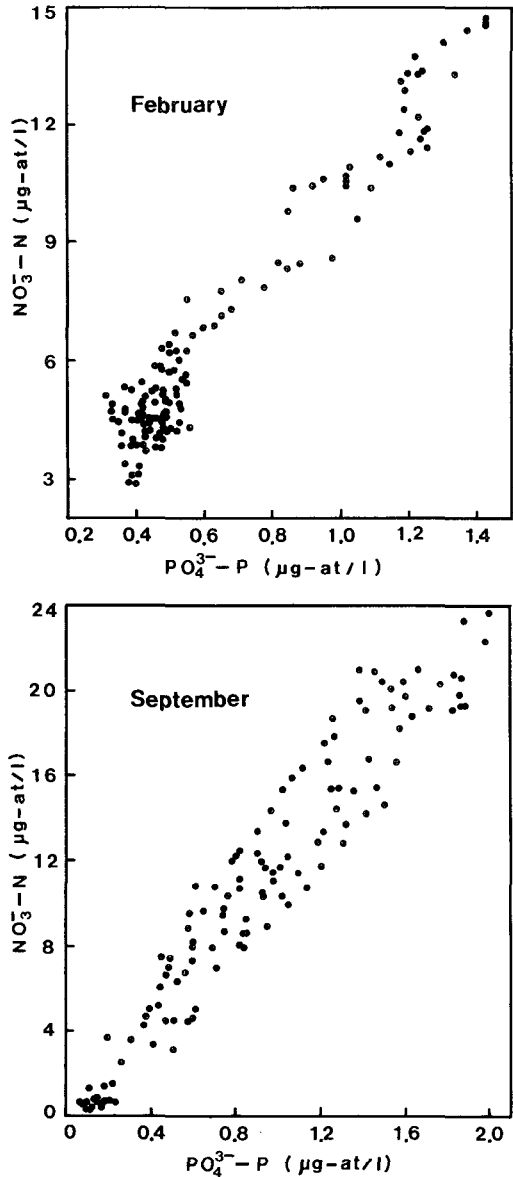


Fig. 7. Relationships between nitrate and phosphate in February and September.

높은데도, 이 두수괴의 生物·化學的 酸素要求量(AOU)은 비슷하였다. 일반외양수의 경우와 같이, 磷酸鹽은 AOU와 정의 직선관계이지만, 그 기울기( $\Delta P/\Delta AOU$ ) 값은 외양역의 1/3 µg-at/ml보다 다소 작으며, 이는 표층수층 용存酸素가 아래층으로 분자확산되어 AOU값이 낮아지기 때문이라고 생각된다. 특히, 하계 100 m 이심층에서는 그 비값이 1/2.0 µg-at/ml로 훨씬 낮으며, 그 이유는 비교적 낮은

AOU값을 보이는 북한한류계통의 해수가 중층 (100~200 m)에 나타나기 때문이다. 한편, 窒酸鹽과 磷酸鹽은 동·하계 모두 전 정점에 대해 상관 계수  $r=0.93$  이상으로 좋은 정의 직선관계를 보인다.

## 文 獻

- An, H. S. and J. Y. Chung. 1982. The fluctuation of the thermal front in the southeastern area off Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 18(1), 33~40.
- Chung, C. S., J. H. Shim, Y. C. Park and S. G. Park. 1989. Primary productivity and nitrogenous nutrient dynamics in the East Sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 24(1), 52~61.
- Gong, Y. and C. K. Park. 1969. On the oceanographical character of the low temperature region in the Eastern Sea of Korea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 4, 69~91.
- Gong, Y. and S. J. Son. 1982. A study of thermal front in the southwestern Japan Sea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 28, 25~54.
- Kido, K. and M. Nishimura. 1973. Regeneration of silicate in the Ocean. I. The Japan Sea as a model of a closed system. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 29, 185~192.
- Kim, C. H. and K. Kim. 1983. Characteristics and origin of the cold water mass along the east coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 18(1), 73~83.
- Park, C. K. 1978. Chemical oceanographic aspect of the cold water mass in offshore of the east coast of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.* 11(2), 49~54.
- Park, C. K. 1979. On the distribution of dissolved oxygen off the east coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 14(2), 67~70.
- Shim, J. H., S. R. Yang and W. H. Lee. 1989. Phytoplankton and the vertical pattern of nutrients in the southern waters of the Korean East Sea in the spring. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 24(1), 15~28.
- Stefansson, U. and L. P. Atkinson. 1971. Nutrient-density relationships in the western North Atlantic between Cape Lookout and Bermuda. *Limnol. Oceanogr.* 16(1), 51~59.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 167, 311p.
- Sugiura, Y. 1969. Identification of the source region of the Kuroshio water by the conservative phosphate concentration. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 25(5), 229~232.
- Tsunogai, S., M. Kusakabe, H. Iizumi, I. Koike and A. Hattori. 1979. Hydrographic features of the deep water of the Bering Sea—The Sea of silicate—*Deep-Sea Res.* 26(6A), 641~659.
- Uda, M. 1938. Research on "Simor" or current-rip in the seas and oceans. *Geophys. Mag.* 11, 307~372.
- Yasui, M., T. Yasuoka and O. Shiota. 1967. Oceanographical studies of the Japan Sea (I). *Oceanogr. Meg.* 19(2), 177~192.

1991년 4월 10일 접수

1991년 5월 5일 수리