

## 울릉분지 해역 동해 중층수의 화학적 특성

김경렬 · 이태식 · 김 구 · 정종률  
서울대학교 자연과학대학 해양학과

### Chemical Characteristics of the East Sea Intermediate Water in the Ulleung Basin

KYUNG-RYUL KIM, TAE SIEK RHEE, KUH KIM AND JONG YUL CHUNG  
*Department of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151-742*

1988년 5월 한바다호를 이용하여 울릉분지 해역의 21개 정점에서 CTD 관측과 동시에 화학성분들의 개관적 분포 특성을 최대 600 m 깊이까지 조사하였다. 조사 성분들의 대표적 수직분포를 보면, 영양염이 고갈되어 있는 30~40 m 두께의 표면혼합층과 수온 및 염분을 포함한 모든 화학성분들이 급격한 변화를 보이는 수온약층, 그리고 거의 특성이 균일한 수심 약 200 m 이하의 심층으로 구분된다.

북위 37°12'을 동서로 잇는 CTD 관측선상에서 약 190 m 깊이에 동해 중층수의 특징인 염분 최소층이 관측되었으나, 이층의 용존산소 농도가 230~275  $\mu\text{M}$ 로서 기존에 알려진 동해 중층수의 특징인 290  $\mu\text{M}$  (6.5 ml/l) 이상의 용존 산소가 관측되지 않았다. 그러나, 길보기 산소활용(AOU)과 질산염, 인산염, 규산염 모두 염분 최소층에서 그 위나 아래 깊이에 비하여 일관성 있게 작은 농도를 보였다. 따라서, 염분 감소에 따른 길보기 산소활용 및 제영양염들의 감소 경향을 통해 중층수의 특징으로 규정할 수 있으며, 동해 해수의 새로운 추적자로서 활용 가능성이 발견되었다.

A synoptic survey of chemical properties was carried out at 21 stations in the Ulleung Basin in May 1988 on board T/V HANBADA. Vertical structures of typical profiles are: surface mixed-layer waters in the upper 30~40 m with depleted nutrients concentrations, thermocline waters with rapid variations in all physical and chemical properties, and deep waters below 200 m which are nearly homogeneous.

Along the northern section at 37°12'N, the salinity minimum layer was observed at about 190 m, which characterize the East Sea Intermediate Water (ESIW).

The dissolved oxygen concentration in this layer was about 230~275  $\mu\text{M}$ , lower than 290  $\mu\text{M}$  (6.5 ml/l) which is the previously known characteristics of the ESIW. However, apparent oxygen utilization (AOU), nitrate, phosphate and silicate show systematically low concentration in the salinity-minimum layer. The low values of AOU and all the nutrients associated with the salinity-minimum, may be useful to identify the ESIW and serve as a new tracer in the East Sea.

### 서 론

동해는 총 면적 1,007,600  $\text{km}^2$ , 평균 수심 1,684 m, 최대 수심 4,049 m, 총 용적 1,698,300  $\text{km}^3$ 의 전형적인 연해(marginal sea)이다. 대한해협, 쓰가루해협 등 수심 150 m 이하의 해협을 통하여 연평균 30,000

$\text{km}^3$  이상 규모의 해수가 동해와 북태평양 간에 교환되며(Yi, 1966), 동해 내에서는 대양형 심층 대류(Killworth, 1983)가 일어나는 것으로 생각된다(Suda, 1932; Nitani, 1972).

1932년 5, 6월과 1933년 10, 11월의 2회에 걸쳐 60여척 이상의 조사선이 동원되어 이루어진 조사

본 연구는 1989년도 문교부 기초과학육성 연구비에 의하여 일부 지원을 받아 수행된 것임.

(Uda, 1934)를 대표적 예로 하여, 동해 조사에서 얻어진 결과들에 의하면(Moriyasu, 1972), 표층 이하 약 200 m의 수심에서 수온과 염분의 강한 연 변화가 있으며, 그 아래 해수는 온도 0~1°C, 염분 34.1‰을 전후로 하는 균일한 수괴로 이루어져 있다. 동해 고유수(ESPW: East Sea Proper Water)라고 일반적으로 알려져 있는 이 수괴는 다시 여러 수괴로 더 세분될 수 있음에도 불구하고, 수온, 염분 등의 변화가 매우 미세하여, 수괴 분석에 어려움이 있다. 이에 따라 용존산소, 규산염 등의 화학성분들의 분포 자료를 추가적으로 도입하여 수괴 분석에 응용하려는 시도들이 있었으며, 특히 용존산소는 수온 및 염분 약층의 기저부에서 발견되는 동해 중층수(ESIW: East Sea Intermediate Water)의 확인 및 규정에 중요하게 응용되었다(Moriyasu, 1972; Fukuoka and Misumi, 1977; Kim and Kim, 1983; Kim and Chung, 1984).

1970년대의 GEOSECS(Geochemical Ocean Sections Study) 및 그 뒤를 이은 TTO(Transient Tracers in the Ocean) 등은 다양한 화학종들이 해수 추적자로 응용될 수 있음을 보여준 중요한 대규모 탐사들이다(Craig and Turekian, 1980; Broecker and Peng, 1982; Brewer *et al.*, 1985). 위에서 언급한 동해의 특수상황을 고려할 때, 새롭게 알려진 화학 추적자들을 수괴 분석에 응용하는 접근방법은 동해에서 매우 유용하게 적용될 가능성을 제시하고 있으나, 체계적 화학해양학 자료의 수집 및 수괴 분석에의 응용은 앞서 보인 몇 예를 제외하고는 드문 상태이다.

따라서, 동해에서 관측되는 화학성분들의 개괄적 분포 형태를 파악하고, 이들을 광범위하게 수괴의 추적자로 응용할 수 있는 가능성을 시험하기 위한 1차 단계로, 1988년부터 1990년까지 3년에 걸쳐 연 1회씩 울릉분지를 중심으로 하는 동해 전반에 걸쳐 개괄적 조사(synoptic survey)를 수행하였다. 본 논문에서는 이 중 1988년도 조사 결과에서 영양염을 중심으로 동해에서의 기본적인 화학성분들의 분포 특성을 토의하였으며, 특히 동해 중층수의 특성규명에 중점을 두었다.

## 조사지역

Fig. 1에 동해 전반 및 울릉분지를 중심으로 한 조사 해역의 해저지형을 도시하였다. 동해 중앙의 야마토 해령(Yamato Rise) 북쪽으로 수심 3,500 m가 넘는 일본분지(Japan Basin)가 넓게 형성되어 있으며, 남쪽으로는 야마토 해령의 동서로 수심 2,000 m를 넘는 분지들이 형성되어 있다. 특히, 야마토 해령 서쪽의 울릉분지는 북쪽으로 울릉도와 독도 사이를 통하여 동해 북부의 일본분지와 연결되어 있으며, 따라서 울릉도와 독도 사이의 길목은 심층수가 동해 내에서 남북 방향으로 이동하는데 있어 지형적으로 매우 중요한 위치를 차지하고 있는 것으로 생각된다(Chough, 1983; Kim *et al.*, 1991).

Fig. 1b에 조사 정점 및 토의의 편의상 설정한 세 관측선(U1: 임원으로부터 울릉도를 가로질러 독도로 이어지는 선, U2: 울릉도에서 남동쪽으로 기울어져 일본으로 이어지는 선, U3: 장기갑에서 동남쪽으로 이어져 U2와 이어지는 선)을 도시하였으며, Fig. 1a에는 HBD-88 조사 해역의 경계 이외에 뒤의 토의에서 이용한 Gamo and Horibe(1983)의 조사 정점과 CSK(Japan Oceanographic Data Center, 1977) 및 Kim and Chung(1984)의 일부 정점을 아울러 도시하였다.

## 시료분석 및 자료처리

HBD-88(한바다-88)로 명명한 본 조사는 1988년 5월 17일부터 20일까지 4일에 걸쳐 한국해양대학 한바다호를 이용하여 수행되었다. 총 24개 정점에서 Neil Brown Instrument System의 Smart CTD를 이용하여 최대 600 m 깊이까지 수온과 염분의 연속 수직분포를 관측하였으며, 이 중 정점 7, 9 및 16을 제외한 21개 정점에서 Niskin형 채수기를 이용하여 평균 6 내지 7개의 수심에서 해수 채취를 동시에 수행하였다. 또한, 표층수는 플라스틱 용기를 이용하여 선상에서 별도로 채수하였다.

채취된 해수는 각 화학성분들을 측정하기 위하여 일차적으로 적절한 시료병에 옮겨 담고 아래와 같은 방법으로 정량하였다. pH는 Orion 7100A pH-meter를 이용하여 현장에서 측정하였고, 용존산소는 Winkler 방법(Carpenter, 1965)에 따라 현장에서 시료를 고정시킨 후 실험실로 옮겨 측정하였다. 질

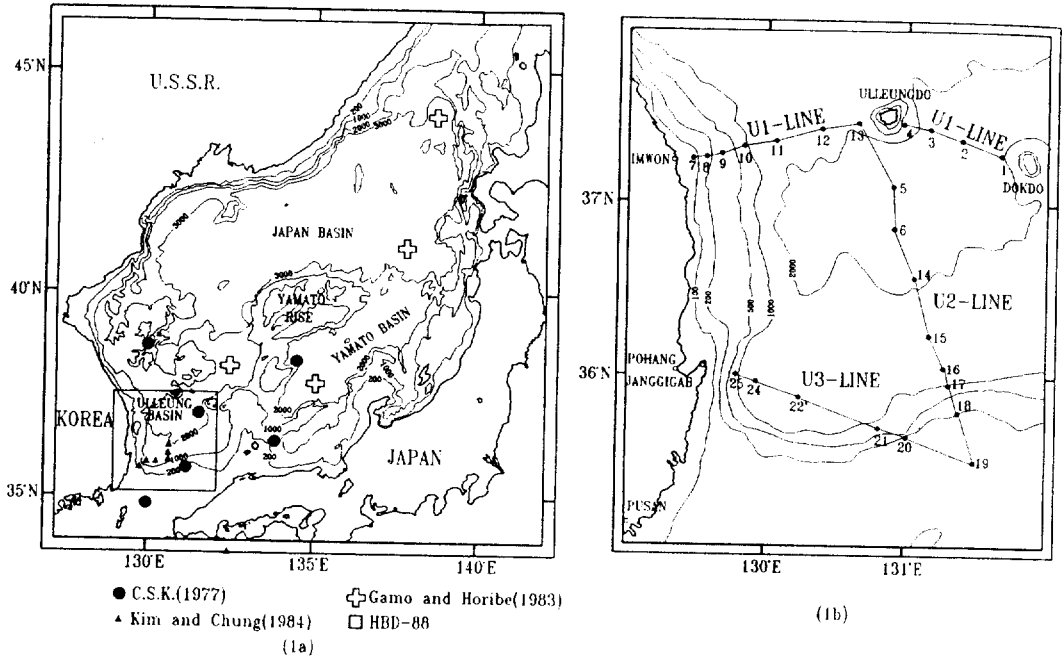


Fig. 1. Bathymetry of the East Sea in general (1a) and HBD-88 study area in the Ulleung Basin (1b). Stations for CSK (Japan Oceanographic Data Center, 1977), Gamo and Horibe (1983) and Kim and Chung (1984) are also shown for the later discussion. Depths are in meters.

산염과 인산염, 규산염 등의 영양염은 100 ml polyethylene병에 시료를 옮겨 담은 후 현장에서 얼려 보관하였다가 실험실로 옮겨, 시료 분석 전 녹인 후 Strickland and Parsons(1972) 방법에 준하여 정량하였다.

채취된 시료의 수온과 염분은 채수와 동시에 관측된 CTD 자료(Kim *et al.*, 1991) 중에서 해당 깊이의 값들을 취하였다. 겉보기 산소 활용(AOU: Apparent Oxygen Utilization)은 채취된 해수의 포텐셜 수온(potential temperature)과 염분으로부터 계산된 용존산소의 포화 농도(Weiss, 1970)에서 관측된 용존산소의 농도를 뺀 값으로 정의하였다(Reidfield *et al.*, 1963; Pytkowicz, 1971).

동일 시료에 대하여 위의 각 성분들을 두번씩 측정하였으며, 두번 실험한 결과, pH는  $\pm 0.003$ , 용존산소는  $\pm 6 \mu\text{M}$ , 질산염은  $\pm 1 \mu\text{M}$ , 인산염은  $\pm 0.1 \mu\text{M}$ , 규산염은  $\pm 0.5 \mu\text{M}$ 의 정밀도를 보였다.

### 결과 및 토의

HBD-88에서 얻은 CTD 결과는 별도의 논문에서

자세히 토의하였고(Kim *et al.*, 1991), 본 논문에서는 21개 정점에서 채취한 해수의 분석 자료를 중심으로 논의하였으며, 부록 1에 관측 결과를 수록하였다.

Fig. 2에 수온과 염분, 용존산소, 겉보기 산소 활용, pH, 영양염 등의 대표적 수직분포를 도시하였다. 토의의 편의를 위해서 깊이에 따라 표면혼합층수(SMLW: Surface Mixed-Layer Water)와 상부약층수(UCW: Upper-Cline Water), 하부약층수(LCW: Lower-Cline Water), 심층수(DW: Deep Water) 등 크게 넷으로 구분하여 Table 1에 각 성분의 변화폭을 요약하였으며 비교를 위해 1,000 m 이하 깊이에서 관측한 Gamo and Horibe(1983)의 자료도 함께 보였다.

수온과 염분의 수직분포에서는 표면혼합층의 특징이 잘 보이지 않으나, 질산염과 인산염, 규산염 등의 분포를 보면, 표면에서 최고 약 40 m 정도의 층까지 이들 영양염이 완전히 고갈되어 있는데 이 수괴를 표면혼합층으로 정의하였다. 따라서, 위의 구분에서 표면혼합층수는 생물학적 재과정들을 통하여 영양염이 완전히 고갈되어 있는(본 연구에서의

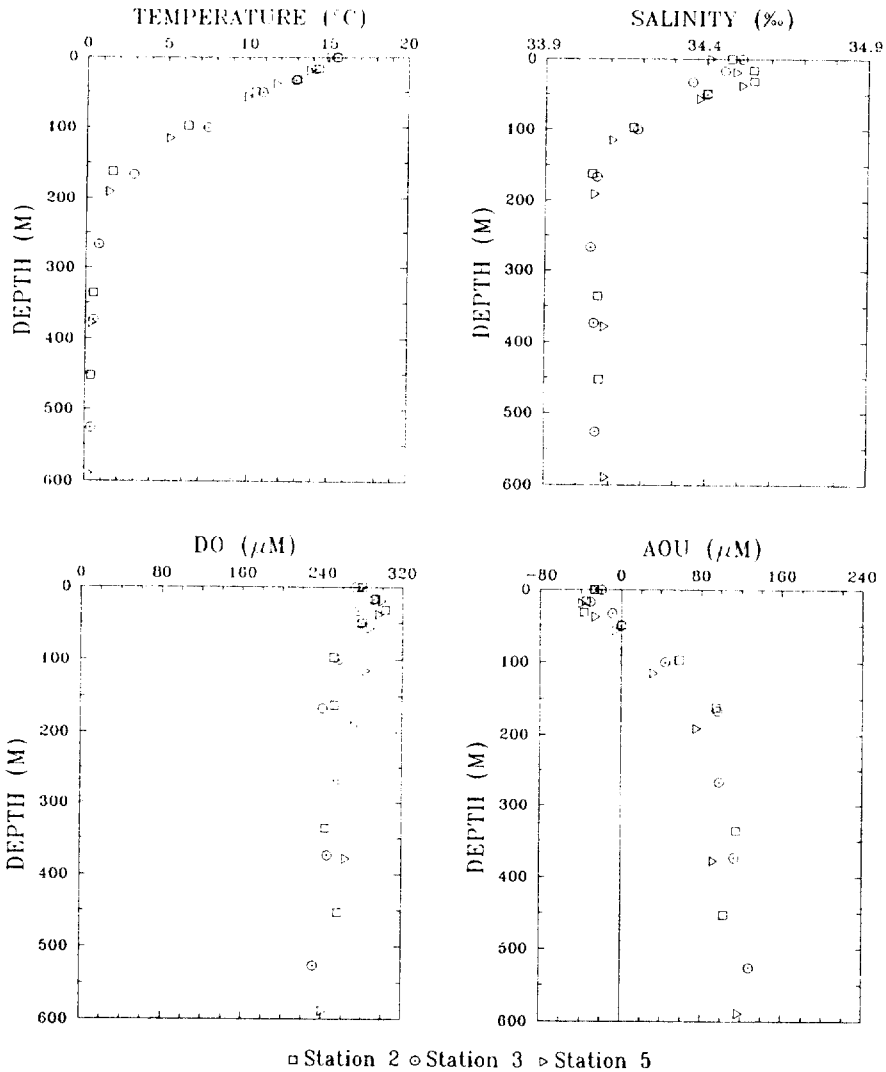


Fig. 2. The vertical profiles of temperature, salinity, DO (Dissolved Oxygen), AOU (Apparent Oxygen Utilization), nitrate, phosphate, silicate and pH in the Ulleung Basin.

분석 한계를 고려하여 질산염 1 μM, 인산염 0.1 μM, 규산염 0.5 μM 이하의 농도) 표층수 전체를 포함한다. 상부약층수는 표면혼합층수 아래에서 수온 10°C까지의 수심에 해당하는 수온약층 상부의 수괴를 말하는데, 이 수괴는 계절적으로 수온과 염분을 포함한 모든 성분의 값이 크게 변화하는 특징을 보인다.

하부약층수는 상부약층수 밑에서 수온 1°C에 해당하는 수심까지의 수괴를 포함하는데, 이에 해당하는 깊이에 항구적으로 수온약층이 형성되어 있

며, 동해 증층수로 알려져 있는 수괴가 온도 1~3°C 정도의 범위로, 염분의 최소값을 보이는 일부 정점에서 하부약층수의 저층에 나타나고 있다(Kim *et al.*, 1991). 상부약층수와 하부약층수를 구분한 10°C의 해수는 조사기간 중 울릉분지 해역에서 대개 80~100 m 깊이에서 관측되었는데, 이 수온은 시간에 따라 약간의 변화가 있기는 하지만, 겨울에서 봄에 이르기까지 울릉분지 해역에서 대표적으로 관측되는 표층 해수의 수온에 해당되는 것으로 생각된다. 수온약층수 아래의 심층수는 모든 성분들의

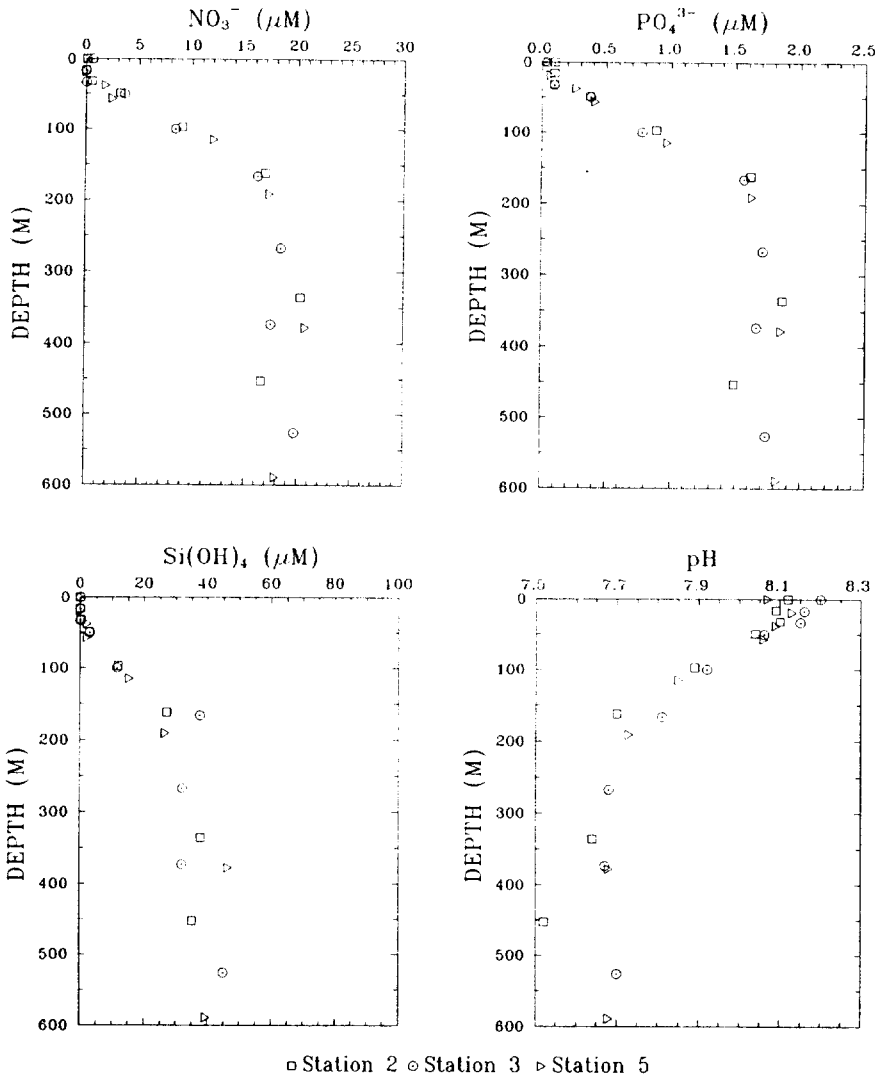


Fig. 2 Continued

성질이 비교적 균일한 1°C 이하의 수괴로, 동해 고유수로 알려져 있는 수괴가 주로 이에 해당한다.

Gamo and Horibe(1983)가 동해 중북부 정점 (Fig. 1a 참조)에서 약 1,000 m에서 3,000 m 이상의 깊이에서 수행한 조사에 따르면, 이 깊이에서 관측되는 각 성분들의 값이 앞의 Fig. 2에서 보인 200~600 m층에서 관측된 값들과 큰 차이를 보이지 않고 있어, 실제로 200 m 정도 이하의 깊이에서 3,000 이상 깊이의 저층에 이르기까지 동해는 물리, 화학적으로 그 성질이 매우 유사한, 균일 심층수로 되어 있음을 보이고 있다. Yasui 등(1967)의 수온-염분-

부피 도표 분석에 의하면, 동해 고유수로 일반적으로 알려져 있는 수온 0~1°C, 염분 33.96~34.14‰ 내외의 수심 200 m 이하에서 관측되는 이러한 균일 수괴가 동해 전체 부피의 84%를 차지하고 있다. Gamo and Horibe(1983)에 의하면 질산염이나 인산염과는 달리 규산염이 예외적으로 깊이에 따라 계속 현저히 증가하는 분포를 보이는데, 이는 심층에서 규산염의 재생산 속도가 다른 영양염들의 재생산 속도에 비하여 상대적으로 느리기 때문에 일어나는 현상으로 생각된다.

물론 이러한 200 m 이하의 균일 수괴에서도 미

Table 1. Characteristics of water properties for 4 water groups in HBD-88 cruise and for Gamo and Horibe (1983) data. (SMLW: Surface Mixed-Layer Water, UCL: Upper-Cline Water, LCW: Lower-Cline Water, DW: Deep Water).

	SMLW				UCLW				LCW				DW				Gamo and Horibe(1983)			
	MIN	MAX	AVG	Ct	MIN	MAX	AVG	Ct	MIN	MAX	AVG	Ct	MIN	MAX	AVG	Ct	MIN	MAX	AVG	Ct
Temperature °C	11.70	17.13	14.83	58	10.25	16.13	12.68	28	1.37	9.96	5.87	34	0.12	0.93	0.49	33	0.15	0.36	0.19	44
Salinity ‰	34.033	34.668	34.497	58	34.279	34.686	34.518	28	34.044	34.390	34.185	34	34.040	34.125	34.086	33	34.064	34.076	34.071	45
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> μM	225	306	281	58	233	304	266	28	217	291	262	34	198	286	247	33	217	229	223	45
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> μM	51	22	25	58	36	36	1	28	-5	131	51	34	69	161	111	33	130	143	137	44
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> μM	0	1	0.53		1	7	3	27	3	18	10	34	11	22	18	33	24	25	25	45
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> μM	0.0	0.1	0.1	45	0.1	0.7	0.3	26	0.2	1.8	0.9	33	1.1	1.9	1.6	30	1.9	2.0	2.0	45
Si(OH) <sub>4</sub> μM	0.0	0.5	0.1	43	1.5	1.2	4.3	26	2.3	38	14	34	21	48	35	33	62	80	76	45
pH	8.07	8.26	8.14	52	7.97	8.24	8.10	27	7.68	8.13	7.90	34	7.52	7.86	7.67	30				

MIN: Minimum MAX: Maximum AVG: Average Ct: Count

비하기는 하나 깊이에 따른 구조가 관측되어, 포텐셜 온도, 용존산소, 특히 규산염 등의 수직분포 구조에 따라 심층수(Deep Water), 저층수(Bottom Water), 단열해저혼합층수(Adiabatic Bottom Mixed Layer) 등으로 다시 구분하기도 하는데, 이에 대하여는 최규수(1986)가 자세히 토의하였다.

특히, 표층에서 고갈된 상태로 있던 영양염이 심층으로 가면서 증가하고 용존산소는 반대로 감소하는 분포 형태는 태평양 등의 대양에서 관측되는 분포와 그 경향이 유사하나, 동해에서는 심층수에서 걸보기 산소 활용이 120 μM 정도 밖에 되지 않으며 용존산소는 230 μM 이상으로 20~150 μM의 북태평양(Broecker *et al.*, 1982)에 비해 높은 농도를 유지하고 있는 것이 특징이다. 더구나 동해에서의 1차 생산량이 평균적으로 대양에서의 값들에 비해 높은 연안 해역형의 성질을 띄고 있음을 감안할 때 (Chung *et al.*, 1989), 동해 심층수의 동해 내에서의 평균 체류시간이 태평양 등의 대양이 심층수의 1000년이 넘는 평균 체류시간에 비하여 상당히 짧음을 시사하고 있으며, 이로 미루어보건데 동해 심층수가 빠른 속도로 새로이 표층수로 교체되는 것으로 사료된다. Gamo and Horibe(1983)는 2,000 m 이하의 동해 심층수에서의 걸보기 산소 활용에 대하여 일반 대양에서 관측되는 평균 산소 활용율을 적용하여 약 300년의 평균 체류시간을 제시하고 있고, Harada and Tsunogai(1980)는 <sup>226</sup>Ra의 분포 조사를 통하여 약 400년의 평균 체류시간을 제시하고 있는데, 이에 대하여는 앞으로 더욱 체계적인 연구가 요청된다.

Fig. 3에 수온과 pH, 걸보기 산소 활용, 영양염

등의 염분에 대한 상관관계를 도시하였다. 시료들은 앞서 토의한 대로 표면혼합층수와 상부약층수, 하부약층수, 심층수로 구분하여 도시하였다.

수온-염분 도표에서 보면, U1 관측선상에 있는 동해안 임원 부근의 표층수에서 보이는 일부 저염, 고온수를 제외하면, 전반적으로 고염, 고온의 표면 혼합층의 수괴에서 시작하여 깊이가 증가함에 따라 저염, 저온의 수괴로 성질이 변화여감을 알 수 있다. 표면혼합층수와 상부약층수는 큰 폭의 변화를 보이며 분포되어 있으나, 일단 수온 10°C 이하의 하부 약층으로 오면 좁은 폭의 선상을 따라 대부분의 자료들이 분포되어 있어 항구적인 수온 약층이 형성되어 있음을 말해주고 있다. 일본 근처의 대륙사면에 위치한 몇 정점들(정점 17, 20 및 21)에서 예외적으로 수심 100 m 깊이를 전후하여 동일 수온의 다른 해수들에 비하여 염분이 0.1‰ 정도 높은 해수가 관측되었는데, 수온-염분 도표에서 별표(\*)로 따로 표시하였다. 이들 해수는 일본에 연한 대륙사면과 관련되어 있는 별도의 기원을 가진 수괴로 생각되며, 울릉분지 해역을 중심으로 논의한 앞으로의 토의에서는 제외하였다.

Fig. 3에서 pH와 염분의 상관관계는 수온-염분 관계와 유사한 형태를 보여주고 있으나, 기타의 걸보기 산소 활용과 질산염, 인산염, 규산염 등은 이와 다른 형태로 분포하는데, 이들의 농도가 고염의 표층수에서는 고갈된 상태를 보이다가 깊이가 증가하면서 염분이 감소함에 따라 그 값들이 전반적으로 커지는 형태를 보이고 있다. 이들 도표에 Gamo and Horibe(1983)의 1000 m 이하 수심의 자료도 함께

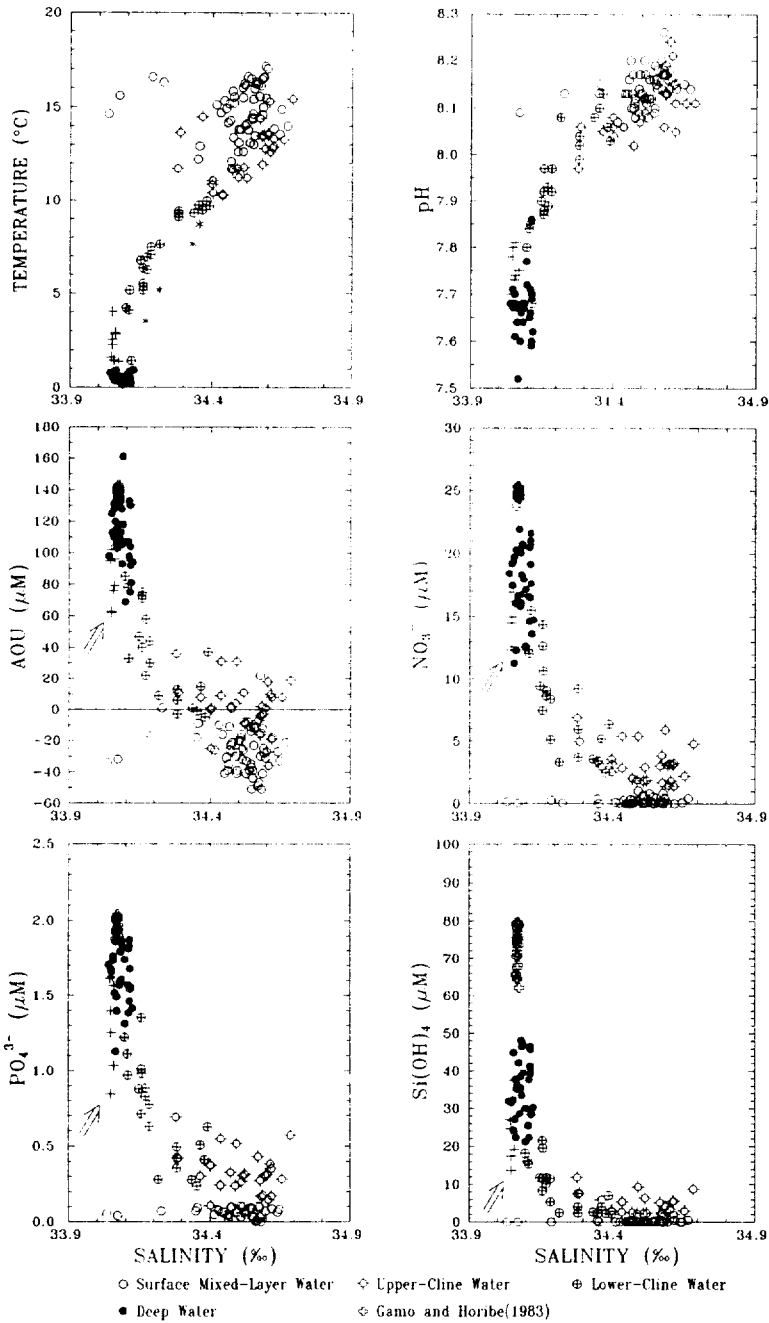


Fig. 3. Property-salinity diagrams for HBD-88 samples. Data are divided into 4 groups and shown in different symbols. SMLW (Surface Mixed-Layer Water) includes all waters with depleted nutrient concentrations near the surface. UCW (Upper-Cline Water) for the upper portion of thermocline waters above 10°C, LCW (Lower-Cline Water) for the lower portion of the thermocline waters with 1-10°C, and DW (Deep Water) for all waters below 1°C in temperature. Waters in the salinity minimum layer are specially marked with + symbol with arrows in order to show clearly the decrease in concentrations for AOU, and other nutrients. Some LCW samples at stations over continental slopes near Japan show salinity higher by 0.1‰ compared with other waters in the basin with corresponding temperatures, suggesting the possibility of the different origin and are marked with the different symbol (\*).

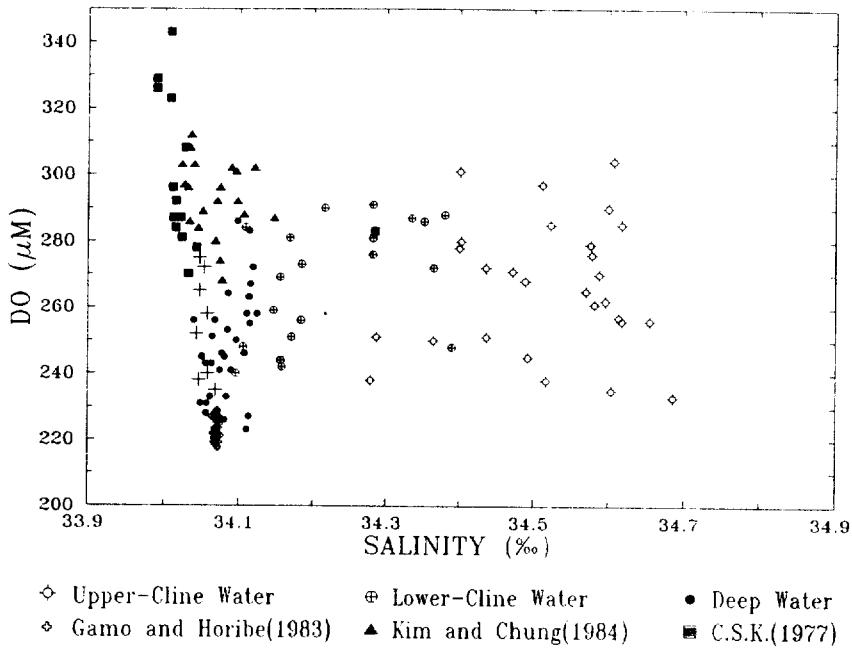


Fig. 4. The DO (Dissolved Oxygen)-salinity diagram for HBD-88. Data for surface waters were not plotted. For comparison, typical East Sea Intermediate Waters were plotted from C.S.K. (1977) and Kim and Chung (1984). While the higher DO concentrations are clearly seen for C.S.K. (1977) and Kim and Chung (1984), DO is relatively low for HBD-88 samples, even for those with + Symbol.

도시하였는데, 앞에서 언급한 바와 같이 겉보기 산소 활용과 질산염, 인산염 등은 본 조사에서 얻은 600 m 이하에서의 자료와 유사하나, 규산염은 훨씬 더 높은 값을 가지는 것이 특징적이다.

그러나, 특히 주목되는 것은 하부약층수의 경우, 염분이 감소함에 따라 겉보기 산소 활용과 질산염, 인산염, 규산염 모두의 농도가 처음에는 증가하는 양상을 보이지만, 염분의 최소층에 접근하면서 다시 감소하는 경향이 뚜렷하다. 이러한 최소 염분을 보이는 수괴는 주로 U1 관측선(특히 정점 4, 10, 12 등의 190 m 전후의 깊이)에서 관측되었는데, Fig. 3에 십자표시와 화살표로 표시한대로 겉보기 산소 활용의 경우 약 60 μM, 질산염은 12 μM, 인산염은 0.8 μM, 규산염은 약 13 μM까지 각각 작아지고 있다. 이와 같이 염분 최소층으로 가면서 영양염이 감소하는 경향을 보여준 하부약층수의 일부 해수들은 동해 중층수로 알려진 저염분, 고용존산소의 수괴에 해당하는 해수들로 생각된다.

용존산소의 농도는 해수 내에서 생물들의 호흡작용에 의한 감소의 정도를 정성적으로 이해하는데에

유용하여 해수의 이동, 혹은 수괴 분석에 종종 이용되어 왔다. 그러나, 용존산소는 순전히 물리적 변수인 해수의 온도 및 염분의 변화에 따른 용해도의 차이에만 의하여도 상당히 그 값이 변할 수 있다. 따라서, 이러한 물리적 변수를 제거하고 순전히 호흡작용을 통한 생물학적 변수로서 정의된 겉보기 산소 활용은 용존산소에 비하여 추적자로서의 장점을 가지고 있으며, 이와 같이 정의된 겉보기 산소 활용은 질산염과 인산염, 규산염 등의 영양염과 서로 양의 함수관계를 가지며 변화할 것이 예상된다.

동해 중층수는 염분 최소층에서 관측되는 고용존산소의 수괴로 정의 및 확인되었음은 이미 앞에서 언급하였다. Fig. 4에 HBD-88에서 관측된 용존산소와 염분과의 상관관계를 보였는데, 비교를 위하여 CSK(Japan Oceanographic Data Center, 1977)와 Kim and Chung(1984) 자료들 중에서 고용존 산소를 가진 대표적 동해 중층수 자료들을 함께 도시하였다. CSK(Japan Oceanographic Data Center, 1977)와 Kim and Chung(1984) 자료들의 경우, 염분 최소층에서 용존산소의 값들이 약 300 μM 이



상으로 현저히 높아져서, 이들 고용존 산소의 해수들을 통해 중층수로 규정하는데에 전혀 어려움이 없었다. 그러나, 동해 중층수의 세력이 매우 미약하였던 HBD-88의 경우, 염분 최고층에서도 용존산소가  $280 \mu\text{M}$  이하의 낮은 값들을 가지며, 실제로 +로 표시된 해수들에 있어서 염분이 감소함에 따라 용존산소가  $230 \mu\text{M}$  정도에서  $275 \mu\text{M}$ 까지 증가하는 경향을 볼 수는 있으나, 용존산소의 값만으로 이들을 통해 중층수로 규정하는 것은 거의 불가능하다. 그러나, 앞의 Fig. 3의 토의에서 보인 것처럼 +로 표시된 해수들은 겉보기 산소활용과 영양염의 농도 변화에서 일관성 있는 감소경향을 보여주고 있어, 그 위나 아래 깊이의 해수들에 비하여 더욱 최근에 해수 표층을 떠나 관측점까지 이동된 별개의 수괴임을 분명히 말해주고 있다.

## 결 론

동해 내에서의 해수 수괴를 분석하고 이들의 이동경로를 추적하는데 화학종들을 다양하게 응용하기 위한 기초를 확립하기 위하여 1988년 봄 울릉분지를 중심으로 하는 동해 남부 전반에 대하여 개관적 해양 조사를 수행하였다.

앞서의 연구들에서 저염분, 고농도의 용존산소만으로 정의되었던 동해 중층수를 염분 최소층에서 겉보기 산소 활용 및 모든 영양염들에 있어 그 농도가 감소하는 경향을 보이는 해수들로 새로이 규정함으로써, 해양학적으로 더욱 일관성 있는 결론을 유도할 수 있음을 보였다. 특히 이와 같은 정의는 동해 중층수의 세력이 아주 미약한 경우 더욱 효과적이며, 따라서 이러한 방법을 통하여 HBD-88의 경우 U1 관측선상 일부 정점들의 190 m 전후의 깊이에서 동해중층수의 존재를 확인할 수 있었다.

앞으로 남·북한, 혹은 한·소간의 과학 교류가 실현되어 동해 북부에 대한 해양 조사를 수행할 수 있을 때, 염분 감소에 따라 겉보기 활용 및 영양염들이 감소하던 경향을 표층의 해수에게까지 연결할 수 있는 경로를 추적하여 동해 중층수의 기원을 밝히는 연구는 높은 우선 순위에서 추진하여야 할 중요 연구 과제들중의 하나이다.

## 감사의 글

본 연구에 큰 도움을 주신 한국해양대학의 학장님, 유용선 교수님, 그리고 한바다초의 선장님, 항해부, 기관부 및 갑판부의 모든 분들께 감사드립니다. 또한 시료들에 대한 영양염 분석을 독립적으로 수행하여 일부 자료의 보정을 가능하게 해주신 인하대학교 박용철 교수님과 유용한 조언을 해주신 이동수 교수님께 감사드립니다. 시료채취 및 분석, 자료정리 등에 도움을 주신 강동진 군, 민동하 군, 이명기 군, 박미경 양 이하 화학해양학실 모든 분들의 수고에 감사드립니다. 논문의 타자는 조정숙 양이 맡아주었습니다. 본 연구는 학술진흥재단 및 한국과학재단으로부터 각각 재정의 일부를 지원받아 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Brewer, P.G., J.L. Sarmiento, W.M. Smethie, Jr., 1985. The Transient Tracers in the Ocean (TTO) program: the North Atlantic study, 1981; the tropical Atlantic Study, 1983. *J. Geophys. Res.*, **90**: 6903-6905.
- Broecker, W.S., D.W. Spencer and H. Craig, 1982. GEOSECS Vol. 3. Pacific Expedition Hydrographic Data. National Science Foundation, Washington, D.C..
- Broecker, W.S. and T.-H. Peng, 1982. Tracers in the Sea. Lamont-Doherty Geological Observatory, New York. Eldigio Press, 690pp.
- Carpenter, J.H., 1965. The Chesapeake Bay Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen methods. *Limnol. Oceanol.*, **10**: 142-143.
- Chough, S.K., 1983. Marine Geology of Korean Seas. International Human Resources Development Corporation, Boston, 157pp.
- 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**: 52-61 (in Korean with English abstract).
- Craig, H. and K. Turekian, 1980. The GEOSECS program: 1976-1979. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **49**: 263-265.
- Fukuoka, J. and A. Misumi, 1977. Sinking in the Japan Sea (Preliminary report). *Bull. Fac. Fish. Hokaido Univ.*, **28**: 143-153.
- Gamo, T. and Y. Horibe, 1983. Abyssal circulation in the Japan Sea. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **39**: 220-230.
- Harada, K. and S. Tsunogai, 1986.  $^{226}\text{Ra}$  in the Japan Sea and residence time of the Japan Sea water. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **77**: 236-244.
- Japan Oceanographic Data Center, 1977. Data Report of CSK, No. 410.
- Killworth, P.D., 1983. Deep convection in the world ocean. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, **21**: 1-26.
- Kim, C.H. and K. Kim, 1983. Characteristics and origin of the cold water mass along the east coast of Ko-

- rea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **18**: 73-88 (in Korean with English abstract).
- Kim, K. and J.Y. Chung, 1984. On the salinity-minimum and dissolved oxygen-maximum layer in the East Sea (Sea of Japan). In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*. Ed. by T. Ichiye, Elsevier Science Publisher, Amsterdam, 55-65.
- Kim, K., K.-R. Kim, J.Y. Chung, H.S. Yoo and S.G. Park, 1991. Characteristics of physical properties in the Ulleung Basin. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **26**: 83-100.
- Moriyasu, S., 1972. The Tsushima current. In: *Kuroshio—its physical aspects*. Eds. by H. Stommel and K. Yoshida, University of Tokyo Press, Tokyo, 353-369.
- Nitani, H., 1972. On the deep and the bottom waters in the Japan Sea. In: *Researches in Hydrography and Oceanography*. Ed. by D. Shoji, Hydrographic Dept. Japan, Maritime Safety Agency, Tokyo, 151-201.
- Pytkowicz, R.M., 1971. On the apparent oxygen utilization and the preformed phosphate in the oceans. *Limnol. Oceanogr.*, **16**: 39-42.
- Redfield, A.C., B.H. Ketchum and F.A. Richards, 1963. The influence of organisms on the composition of sea water. In: *The Sea. Vol. 2*. Ed. by M.N. Hill, 26-77.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, 310pp.
- Suda, K., 1932. On the bottom water of the Japan Sea (Preliminary report). *J. Oceanogr. Imp. Mar. Observatory, Kobe, Japan*, **4**: 221-240 (in Japanese with English abstract).
- Sudo, M., 1986. A note on the Japan Sea Proper Water. *Prog. Oceanog.*, **17**: 313-336.
- Uda, M., 1934. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932. *J. Imp. Fisher Exp. St.*, **5**: 57-190 (in Japanese with English abstract).
- Weiss, R.F., 1970. The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. *Deep-Sea Res.*, **17**: 721-735.
- Yasui, M., Y. Yasuoka, K. Tanioka and O. Shiota, 1967. Oceanographic studies of the Japan Sea (1)—Water characteristics. *Oceanographical Magazine*, **19**: 177-192.
- Yi, Sok-U, 1966. Seasonal and secular variations of the water volume transport across the Korea Strait. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **1**: 7-13.

---

Received May 2, 1991

Accepted September 2, 1991

부록 1. Data table for the HBD-88 cruise.

STATION No.	DEPTH m	T °C	*T <sub>p</sub> °C	S ‰	SIGMA θ	DO μM	AOU μM	pH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> μM	Si(OH) <sub>4</sub> μM	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> μM
1	0	16.20	16.17	34.513	25.328	281	-32	8.17	—	—	—
	20	14.88	14.84	34.647	25.730	288	-33	8.15	0	0.0	0.1
	40	13.99	13.95	34.668	25.939	281	-21	8.14	0	0.5	—
	60	13.27	13.22	34.655	26.080	256	8	8.11	2	2.9	0.3
	120	9.28	9.22	34.282	26.530	291	-3	8.04	6	4.1	0.5
	200	6.78	6.72	34.147	26.800	259	47	7.90	9	11	0.9
	400	0.60	0.53	34.049	27.329	231	125	7.71	19	31	1.7
	600	0.35	0.27	34.057	27.348	228	131	7.61	11	24	—
2	0	15.49	15.46	34.509	25.487	272	-20	8.20	—	0.1	0.0
	17	14.16	14.12	34.455	25.740	291	-31	8.16	0	0.0	—
	33	12.92	12.88	34.355	25.920	275	-9	8.15	0	0.0	0.1
	50	10.85	10.80	34.400	26.351	278	0	8.06	4	2.9	0.4
	100	7.48	7.43	34.184	26.731	256	44	7.92	8	11	0.8
	166	2.91	2.85	34.059	27.168	240	96	7.81	16	37	1.6
	267	0.79	0.72	34.040	27.310	256	98	7.68	18	32	1.7
	373	0.50	0.43	34.051	27.355	245	113	7.67	17	31	1.7
	526	0.36	0.28	34.057	27.348	231	128	7.70	20	44	1.7
3	0	15.53	15.49	34.476	25.454	280	-27	8.12	0	0.0	0.1
	16	14.35	14.31	34.544	25.767	293	-35	8.09	0	0.0	0.1
	32	13.01	12.98	34.546	26.048	303	-37	8.10	—	0.3	0.1
	49	10.40	10.36	34.402	26.432	270	1	8.04	3	2.9	0.4
	97	6.26	6.21	34.171	26.888	251	58	7.89	9	11	0.9
	162	1.62	1.56	34.044	27.259	252	95	7.70	17	27	1.6
	336	0.49	0.43	34.064	27.346	243	115	7.64	20	37	1.9
	453	0.37	0.30	34.068	27.356	256	103	7.52	17	35	1.5
	4	0	15.20	15.17	34.477	25.528	275	-21	8.08	0	—
19		14.10	14.06	34.521	25.804	267	-8	8.08	0	0.1	0.1
37		13.32	13.28	34.618	26.041	256	8	8.05	3	5.6	0.4
56		11.93	11.88	34.578	26.287	276	-4	8.06	2	2.2	0.3
113		6.35	6.30	34.156	26.864	269	40	7.92	7	8.3	0.7
189		2.84	2.78	34.058	27.173	258	79	7.74	13	19	1.0
394		0.51	0.44	34.065	27.346	251	106	7.67	12	22	1.1
595		0.31	0.24	34.069	27.360	228	132	7.67	16	36	1.4
5		0	15.12	15.12	34.414	25.497	280	-26	8.07	0	0.0
	19	13.82	13.82	34.494	25.842	300	-39	8.13	0	0.0	0.1
	38	11.76	11.76	34.512	26.268	297	-25	8.09	2	2.3	0.3
	57	9.96	9.95	34.380	26.493	288	-5	8.06	2	2.3	0.4
	115	5.17	5.16	34.109	26.974	284	33	7.85	12	15	1.0
	191	1.46	1.45	34.054	27.277	272	76	7.73	17	26	1.6
	378	0.43	0.42	34.086	27.368	264	93	7.68	21	46	1.9
	589	0.25	0.23	34.090	27.381	241	118	7.68	18	39	1.8
6	0	15.17	15.17	34.460	25.523	293	-39	8.20	0	0.1	0.0
	9	14.92	14.92	34.449	25.568	296	-41	8.13	0	0.1	0.1
	20	13.11	13.11	34.493	25.987	306	-41	8.17	—	—	0.1
	32	11.70	11.70	34.468	26.245	299	-26	8.17	0	0.5	0.0
	67	9.74	9.73	34.352	26.507	286	-1	8.10	3	2.4	0.2
	114	7.63	7.62	34.216	26.734	290	9	8.08	3	2.5	0.3
	232	1.37	1.36	34.069	27.296	235	114	7.75	16	22	—
	366	0.49	0.47	34.097	27.373	250	107	7.77	17	30	1.7
7	0	14.63	14.63	34.033	25.312	291	-34	—	0	0.0	0.1
8	0	15.59	16.59	34.071	25.128	279	-32	8.09	0	0.0	0.0
	20	14.48	14.51	34.365	25.600	250	8	8.05	3	5.9	0.3
	39	13.65	13.66	34.287	25.716	251	11	8.06	5	7.6	0.4
	59	11.71	11.42	34.279	26.097	238	36	7.97	7	11	0.7
	99	5.35	5.13	34.158	26.991	242	75	7.97	11	19	1.0
	127	2.28	2.41	34.047	27.211	238	102	7.78	15	24	1.4

\*T<sub>p</sub>: Potential Temperature

부록 1. continued

STATION No.	DEPTH m	T °C	*T <sub>p</sub> °C	S ‰	SIGMA θ	DO μM	AOU μM	pH	NO <sub>3</sub> μM	Si(OH) <sub>4</sub> μM	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> μM
9	0	16.56	16.56	34.188	24.994	264	-17		0	0.0	-
	239	0.91	0.90	34.062	27.320	233	120		16	27	1.5
10	0	15.82	15.82	34.472	25.384	273	-23	8.10	0	0.1	0.0
	18	14.28	14.27	34.464	25.720	294	-35	8.10	0	0.1	0.0
	37	12.21	12.21	34.350	26.055	288	-18	8.13	0	0.4	0.1
	55	11.07	11.07	34.401	26.310	301	-25	8.08	3	2.0	0.1
	111	9.10	9.09	34.282	26.559	276	13	8.02	9	7.6	0.4
	184	4.02	4.00	34.048	27.053	265	62	7.80	14	13	0.8
	368	0.33	0.32	34.075	27.364	241	118	7.60	22	42	-
	556	0.12	0.10	34.084	27.383	233	128	7.64	18	48	1.8
11	0	14.69	14.69	34.429	25.604	266	-10	8.13	0	0.0	0.1
	16	13.38	13.38	34.474	25.916	262	1	8.11	0	0.5	0.1
	32	12.62	12.61	34.510	26.101	283	-16	8.12	0	0.0	0.1
	49	11.72	11.71	34.489	26.258	268	4	8.09	2	2.2	0.2
	97	9.42	9.41	34.282	26.507	281	6	7.99	4	2.4	0.4
	162	6.95	6.93	34.169	26.794	281	22	7.93	9	10	0.8
	324	0.87	0.86	34.056	27.318	243	110	7.68	19	32	1.8
	552	0.33	0.31	34.081	27.369	226	133	7.68	17	35	1.6
12	0	16.00	16.00	34.508	25.369	268	-18	8.12	0	0.0	0.1
	18	13.81	13.80	34.501	25.849	281	-20	8.13	0	0.0	-
	36	12.61	12.60	34.490	26.087	297	-30	8.14	0	-	-
	54	11.65	11.65	34.472	26.258	271	2	8.02	2	2.5	0.3
	108	7.07	7.06	34.185	26.789	273	30	7.97	5	5.4	0.6
	180	2.56	2.55	34.048	27.189	275	63	7.78	12	17	1.3
	360	0.47	0.46	34.081	27.361	245	113	7.68	20	38	1.8
	473	0.32	0.31	34.085	27.372	253	105	7.64	16	33	1.6
13	0	15.33	15.33	34.442	25.472	269	-16	8.13	0	-	0.1
	18	14.01	14.01	34.516	25.818	286	-26	8.11	0	0.0	0.1
	36	13.09	13.08	34.533	26.023	273	-8	8.12	1	1.0	-
	54	12.09	12.09	34.467	26.169	281	-11	8.13	0	0.0	-
	109	9.70	9.68	34.390	26.545	248	37	8.03	6	17.1	0.6
	181	4.22	4.21	34.096	27.069	240	85	7.80	13	18	1.2
	363	0.60	0.59	34.078	27.351	246	109	7.66	16	28	1.6
	594	0.28	0.25	34.088	27.377	198	161	7.67	21	47	1.9
14	0	16.57	16.57	34.585	25.296	288	-41	8.17	0	0.0	0.0
	9	16.55	16.55	34.581	26.298	298	-51	8.17	0	0.0	0.0
	21	15.54	15.54	34.568	25.522	301	-49	8.20	0	0.0	0.0
	33	14.98	14.97	34.580	25.658	270	-15	8.17	1	0.0	-
	69	13.55	13.54	34.596	25.978	262	1	8.14	3	2.5	0.3
	147	4.10	4.09	34.106	27.090	248	78	7.84	12	16	1.1
15	298	0.67	0.66	34.098	27.363	286	69	7.72	13	21	1.3
	0					268			0	0.0	0.1
	18					282			0	0.0	0.0
	37					251			3	2.5	0.3
	55					274			3	2.5	0.4
	111					238			14	26	1.2
	230					245			18	33	1.7
	485					243			13	28	1.3
16	0	16.18	16.18	34.562	25.370	260	-11		-	-	0.0
17	0	16.31	16.31	34.555	25.333	260	-12	8.18	0	0.3	0.0
	16	14.60	14.59	34.578	25.739	287	-30	8.18	0	0.0	0.0
	32	13.48	13.47	34.582	25.981	261	2	8.13	1	1.5	0.2
	47	12.83	12.82	34.614	26.138	257	10	8.15	3	5.5	0.4
	95	5.16	5.15	34.215	27.059	256	61	8.11	13	20	1.1
	197	0.46	0.45	34.114	27.389	227	130	7.86	17	29	1.5
	408	0.21	0.20	34.115	27.403	255	104	7.69	22	39	1.9

\*T<sub>p</sub>: Potential Temperature

## 부록 1. continued

STATION No.	DEPTH m	T °C	*T <sub>p</sub> °C	S ‰	SIGMA θ	DO μM	AOU μM	pH	NO <sub>3</sub> μM	Si(OH) <sub>4</sub> μM	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> μM
18	0	16.48	16.48	34.538	25.282	286	-39		0	0.0	0.1
	19	14.63	14.63	34.544	25.706	271	-14		1	0.0	0.1
	38	13.57	13.56	34.640	26.006	290	-27		1	0.0	0.1
	57	11.21	11.21	34.523	26.380	285	-9		2	2.4	0.3
	115	0.92	0.92	34.125	27.370	258	94		15	30	1.4
	191	0.25	0.24	34.115	27.401	255	104		21	45	1.9
19	0	17.13	17.13	34.588	25.164	269	-25	8.13	0	—	—
	20	17.00	16.99	34.596	25.203	276	-31	8.18	0	0.0	0.1
	40	16.55	16.54	34.584	25.300	259	-12	8.19	0	—	—
	60	15.30	15.29	34.604	25.604	235	18	8.16	3	3.4	0.3
	120	11.24	11.20	34.493	26.352	245	31	8.07	5	9.3	0.5
20	0	16.58	16.58	34.526	25.250	288	-41	8.12	0	—	0.1
	18	15.45	15.45	34.591	25.560	281	-28	8.16	—	—	—
	36	13.85	13.85	34.620	25.932	278	-18	8.14	0	0.5	0.1
	54	12.90	12.89	34.618	26.127	285	-19	8.11	1	2.0	0.2
	82	10.31	10.30	34.436	26.475	272	9	8.06	3	2.6	0.2
	109	7.64	7.63	34.332	26.824	257	42	7.88	8	12	0.7
	136	3.52	3.51	34.167	27.197	255	75	7.73	18	30	1.8
	172	0.93	0.93	34.119	27.365	272	81	7.62	14	28	1.6
21	0	16.19	16.19	34.554	25.362	272	-23	8.14	0	—	0.1
	20	15.96	15.96	34.550	25.410	293	-44	8.15	0	0.0	0.0
	40	13.79	13.79	34.527	25.872	294	-33	8.16	0	0.0	0.0
	59	13.48	13.47	34.551	25.955	302	-39	8.16	0	0.0	0.1
	119	8.70	8.68	34.355	26.681	276	16	7.94	8	10	0.8
	247	0.85	0.84	34.108	27.361	246	107	7.65	17	25	1.6
	494	0.31	0.29	34.114	27.396	263	96	7.60	21	46	—
22'	0	16.11	16.11	34.572	25.394	296	-47	8.17	—	—	0.1
	18	15.40	15.39	34.546	25.537	303	-51	8.19	0	0.3	0.1
	37	13.47	13.46	34.576	25.978	279	-16	8.17	4	2.5	—
	55	12.78	12.77	34.588	26.128	270	-3	8.13	6	4.0	0.2
	111	9.30	9.28	34.335	26.519	287	1	8.08	4	2.6	0.3
	184	5.53	5.52	34.157	26.969	244	71	7.88	13	11	1.0
	368	0.59	0.57	34.111	27.379	258	98	7.66	15	22	1.4
24	0	16.44	16.44	34.576	25.321	225	22	8.26	0	0.3	0.1
	17	14.43	14.42	34.542	25.748	269	-11	8.16	0	—	—
	34	13.53	13.52	34.600	25.984	290	-27	8.24	1	0.1	—
	51	12.60	12.59	34.607	26.178	304	-36	8.21	2	0.5	0.1
	102	9.46	9.44	34.365	26.565	272	15	8.13	5	4.1	0.5
	170	5.17	5.16	34.156	27.010	244	73	7.87	14	21	1.4
	339	0.58	0.57	34.111	27.379	223	133	7.71	20	37	1.8
	585	0.26	0.23	34.116	27.401	267	92	7.70	18	40	1.7
25	0	16.28	16.28	34.228	25.090	247	1	8.13	0	—	0.1
	16	16.13	16.13	34.517	25.348	238	11	8.12	3	6.4	0.3
	33	15.42	15.41	34.686	25.640	233	19	8.11	5	8.8	0.6
	49	14.39	14.38	34.570	25.779	265	-7	8.14	3	5.2	0.4
	98	10.25	10.24	34.437	26.485	251	31	8.06	5	5.4	0.5
	164	1.43	1.43	34.116	27.329	217	131	7.68	15	28	1.5
	328	0.34	0.33	34.114	27.395	283	75	7.59	19	41	1.8

\*T<sub>p</sub>: Potential Temperature