

# 동해심층수 개발해역의 미량금속 분포

김경태\*·장시훈\*\*·김은수\*\*·조성록\*\*·박준건\*\*·문덕수\*\*\*·김현주\*\*\*

\*, \*\*한국해양연구원 해양환경연구본부, \*\*\*한국해양연구원 해양시스템안전연구소

## Distribution of trace metals in the deep ocean waters of the East Sea

Kyung Tae Kim\*·Si Hun Jang\*\*·Eun Soo Kim\*\*·Sung Rok Cho\*\*·Jun Kun Park\*\*·

Deok Soo Moon\*\*\*·Hyeon Ju Kim\*\*\*

\*, \*\*Marine Environment Research Department, KORDI, Ansan, 426-744, Korea

\*\*\*Maritime and Ocean Engineering Research Institute, KORDI, Daejeon, 305-343, Korea

**요 약 :** 동해의 해양 심층수 자원 기반 환경 연구의 일부로 청결기술을 적용하여 해수 중의 용존성 미량금속(Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) 농도 분포와 변화를 조사하였다. 강원과 경북 지역에 총 6개 정점을 선정하고, 각 지역마다 최대 채수 수심 각각 200-300m와 500m까지 시료를 채취하였다. 본 연구의 미량금속을 위한 연안해수 표준물질(CASS-4)의 분석 결과 각 원소 평균 회수율은 Co의 89.4%에서 Cd의 99.8%의 범위였다. 용존 미량원소의 분포는 해역 및 시기적인 변화가 다양하게 나타났다. Cd, Ni, Zn의 경우는 영양염 의존형으로 표층에서 낮고 저층으로 갈수록 증가하는 경향이 뚜렷하였다. 그러나 Co, Cu, Pb은 수직적으로 불규칙적인 분포를 나타내었다. 본 연구의 동해 심층수 원수의 중금속 농도는 해역별 수질 기준과 먹는 물 기준을 만족하였다.

**핵심용어 :** 동해, 심층수, 수질, 미량금속, 청결기술

**ABSTRACT :** In order to develop the deep ocean water, we performed to study the characteristics of vertical distribution of dissolved trace metals(Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) from Apr. to Oct., 2005 in the East Sea. Total six sampling sites were selected in Gangwon-Do and Gyeongsanbuk-Do. Accuracy of the analytical procedures was assessed by the SRM(CASS-4) for dissolved metals in seawater. The mean recoveries of CASS-4 ranged from 89.4% for Co to 99.8% for Cd. In this study, the dissolved metal concentrations varied with space, time and element. The metal concentrations showed wide range in the surface. Cd, Ni and Zn showed a nutrient-type profile with surface depletion and enrichment at depth. However, Co, Cu and Pb were irregular in the vertical distribution. All metal concentrations studied in this study are lower than the criteria of Korean drinking water.

**KEY WORDS :** East Sea, Deep Ocean Water, Water Quality, Trace Metal, Clean Technique

### 1. 서 론

해수와 담수 등의 자연수 중에는 원소 주기율표상의 대부분 원소들이 존재하고 있으며, 특히 해수 중에 중금속은 극미량으로 존재하기 때문에 미량금속이라고 불리기도 한다. 생물학적으로 유용한 미량 금속 역시 nM 또는 이보다 1000배 낮은 pM 수준으로 존재하고 있다(Bruland et al., 1991). 이미 미국과 영국, 프랑스, 독일 등의 해양 선진국의 해양학자들은 1970년대부터 자연수중의 미량 원소의 농도가 예전에 비해 1/10 ~ 1/1,000 이하로 존재하고 있음을 밝혀졌으며, 이후 많은 연구에서 실질적인 존재에 근거한 미량 원소의 거동에 대한 연구가 이루어지고 있다. 이상과 같은 농도 감소는 해양 환경의 개선에

의한 것보다 극미량 금속 자료 획득을 위한 과정의 전반에 인위적인 오염을 최소화하기 위한 청결기술이 적용되고, 분석 기술과 장비가 발전하였기 때문이다. 따라서 청결기술을 적용하지 않은 극미량 금속 농도 자료는 신뢰성이 없을 뿐 아니라 환경의 변화를 파악하고, 평가하거나 거동을 구명하는데 활용하기 어려운 것으로 지적되었다(Bruland, 1983; Burton and Statham, 1990). Windom et al.(1991)은 1970-80년대의 각 실험실간 상호 검정에 의해서 얻어진 자료의 시기별 변화는 시기에 따라 실험실간의 자료의 차이가 있지만 1970년대보다 1980년대는 매우 낮은 수준이었으며, 청결 분석에 의한 최근의 자료가 실제 해수 중의 자료에 근접한다고 하였다.

해양 심층수는 장시간의 해양 순환을 거쳐서 수심 200m이상에 존재하고 있는 안정된 저온성, 부영양성과 청정성을 가지고 있다. 일본과 미국에서는 해양 심층수를 이용하여 수산물 양식

\*대표저자 : 정희원, ktkim@kordi.re.kr, 031)400-6163

뿐만 아니라 각종 식품과 화장품 등 다양한 형태의 기능성 상품, 음용수 자원으로 개발되고 있다. 그러나 해양심층수는 해수의 순환과정과 유광층의 생물학적인 생산, 심층부에서의 분해과정에 의하여 영양염류, minor 및 trace element들의 농도에 차이가 있다.

한편 매우 낮은 농도로 존재하는 대양에서 미량 금속의 수직 분포와 거동에 대한 연구가 활발하게 진행되었으나(Bruiland, 1980; Yeats and Campell, 1983; Saager et al., 1992), 국내에서는 해양의 미량 금속 수직 분포는 양(1997)에 의한 동해 중앙부 2개 정점에서 Cu와 Ni에 대한 보고가 있을 뿐이다.

따라서 본 연구에서는 청결 기술을 적용하여 동해 심층수 자원 조사 해역에서 용존 미량 금속의 시공간적 분포와 해양 심층수의 안전성을 파악하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 조사방법

동해의 심층수 조사는 강원도립대학의 실습선인 해송호를 이용하였으며, 조사 해역은 Fig. 1과 같이 강원지역에 고성(St. 2, 3), 영랑(YR), 정동진(JD), 경북지역에 울진(UJ), 포항(PH), 울릉도 도동(DD) 등 총 6곳으로 채수 수심은 200~500m였다. 해수의 용존 미량 금속(Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn)은 수층 및 계절별로 조사를 실시하였으며, 각 정점별 조사는 2005년에 수행되었으며, 춘계는 4~5월, 하계는 7~8월, 추계는 9~10월에 실시하였다.

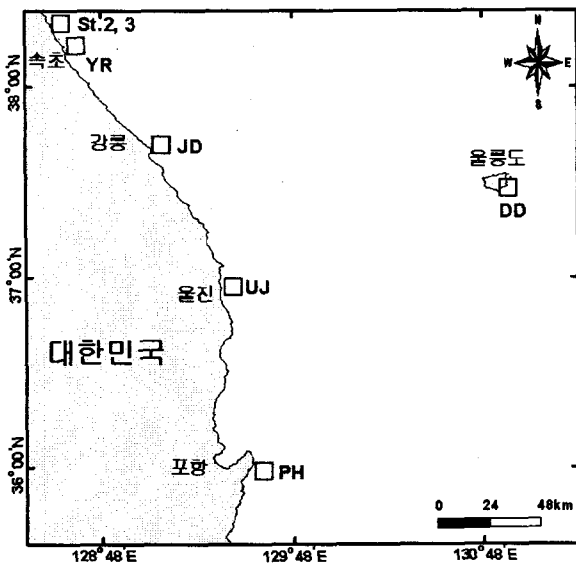


Fig. 1. Location map of seawater sampling stations in the East Sea.

### 2.2 시료 채취 및 분석방법

표층수 채취는 PVC파이프에 아크릴 판을 Tygon tubing으

로 고정된 형태의 채수보조 기구를 제작하여 수행하였다. 조사선이 정점에 서기 위하여 속도를 줄였을 때 앞 갑판에서 산세척된 1L 폴리에틸렌 병을 채수기에 매달아 풍향과 파도의 방향을 고려하여 채취하였는데 먼저 현장의 표층수로 2~3회 세척한 후 채취하였다. 저층수는 조사선의 원치와 스테인리스 Wire에 Go-flo 채수기를 장착하여 채취하였으며, 최대 채취 수심이 200~300m인 경우는 50m 간격, 500m인 경우는 100m 간격으로 채취하였다. 채수한 후에는 바로 시료병 뚜껑을 닫고 비닐로 포장한 후 플라스틱 통에 넣어 현장 실험실로 옮겼다. 시료를 수 시간 내에 실험실로 옮겨 Clean Room 또는 Class 100의 Clean bench 안에서 미리 2차 산세척 후 무게가 측정된 47mm 직경의 폴리카보네이트 막여과지(Pore size 0.4 $\mu$ m)를 Polysulfone 재질의 여과기에 설치하여 감압 여과하였다. 초기 여과액 약 200mL는 버렸으며, 이후의 시료를 받아서 고순도 HCl을 가하여 pH 2 이하로 처리하여 용존 미량금속 분석용으로 하였다. 시료 채취 전과 후의 과정에 시료 병과 채수기 및 기타 용기는 플라스틱 통에 보관하여 오염을 최소화하도록 하였다.

실험에 사용된 모든 시약은 시약에 의한 중금속 오염을 배제하기 위하여 산은 중금속 함유량이 매우 낮은 고순도를 구입하였으며, DDC-APDC, HCFC-141b(CH<sub>3</sub>CFCl<sub>2</sub>), NH<sub>4</sub>OH는 이등(1989)의 방법에 따라 실험실에서 분석급 시약을 정제하여 사용하였다. 또한 사용된 모든 기구는 10% HCl(GR급) 및 0.1M HNO<sub>3</sub>(Ultrapure급)으로 세척하여 사용하였다.

시료의 용존 미량금속(Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) 분리-농축은 Clean room에 설치된 Class 100의 Clean bench 내에서 Danielsson et al.(1978)의 DDTC-APDC-Freon 용매추출법을 변형한 이 등(1989)의 방법에 따랐으나 용매는 CFC-113 대신 대체물질로 개발되어 활용되는 HCFC-141b를 가열-응축법으로 정제하여 사용하였다. 미량금속이 추출된 용매는 증발시킨 다음 최종적으로 1% HNO<sub>3</sub>로 용해하였으며, 원시료에 대하여 농축 비율은 40이었다. 이 용액은 Rh을 내부표준물질로 사용하여 ICP-MS(Thermo Elemental X-7)로 측정하였다. 한편 각 시료의 용존 미량 금속 분석자료 신뢰성을 검증하기 위하여 NRC(National Research Council Canada)의 연안해수 표준물질인 CASS-4를 함께 분석하였다.

## 3. 결론

### 3.1 표준물질 분석 신뢰성

본 연구의 용존 미량금속 분석의 정확도를 점검하기 위하여 실시한 표준 물질(CASS-4)에 대한 분석 결과는 Table 1에 나타내었다. 각 용존 미량금속은 보충농도에 대하여 평균 회수율이 Co의 89.4%에서 Cd의 99.8%의 범위였다. 보충 농도에 대하여 분석 농도의 표준 편차의 비율(상대표준편차)은 Co가 3.8%로 가장 낮게 나타났으며, Pb의 경우 10.8%로 가장 높은 편차를 보였다. 이와 같은 Pb의 높은 불확실성은 보충농도의 범위에도 나타나 있으며, Pb이 다른 금속들보다 분석 과정의 다양

한 원인에 의한 오염 가능성이 높다는 것을 의미한다. 이상의 결과를 종합적으로 정리하면 본 연구의 미량금속 분석 방법은 신뢰할 수 있는 것으로 판단된다.

Table 1. Analytical results of metal concentration( $\mu\text{g/L}$ ) in the SRM(CASS-4)

Element	Certified value	Measured value (Mean $\pm$ 1SD)	% Recovery	N
Co	0.026 $\pm$ 0.003	0.023 $\pm$ 0.001	89.4	16
Ni	0.314 $\pm$ 0.030	0.284 $\pm$ 0.018	90.4	16
Cu	0.592 $\pm$ 0.055	0.565 $\pm$ 0.026	95.4	16
Zn	0.381 $\pm$ 0.057	0.365 $\pm$ 0.021	95.8	14
Cd	0.026 $\pm$ 0.003	0.026 $\pm$ 0.002	99.8	16
Pb	0.0098 $\pm$ 0.0036	0.0093 $\pm$ 0.0011	94.5	16

### 3.2 미량금속의 분포

동해의 심층수 중 용존 미량금속의 분포 범위는 Co 0.0018 ~ 0.0178 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.0050 $\mu\text{g/L}$ ), Ni 0.106 ~ 0.344 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.195 $\mu\text{g/L}$ ), Cu 0.060 ~ 0.319 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.130 $\mu\text{g/L}$ ), Zn 0.016 ~ 1.563 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.406 $\mu\text{g/L}$ ), Cd 0.011 ~ 0.058 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.032 $\mu\text{g/L}$ ), 그리고 Pb 0.002 ~ 0.160 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.028 $\mu\text{g/L}$ )였다.

각 시기별 분포 특성을 보면 봄 조사의 경우 Co는 표층에서 정점 간에 큰 차이를 나타내었으며, St. 2에서는 표층에서 높고 저층으로 가면서 낮은 분포였고, St. PH-200은 표층에서 저층으로 가면서 증가하는 형태였다. 그러나 모든 정점에서 100m 이하의 수층에서는 0.005 $\mu\text{g/L}$  내외의 균일한 분포를 보였다. Ni의 경우는 St. 2에서 다른 정점들보다 불규칙적인 분포였고, St. 3은 200, 300m 층에서 다른 수층보다 50% 정도 높은 농도를 보였다. 그러나 이들 두 정점을 제외한 곳에서는 표층에서 낮고 저층으로 가면서 약간 증가하는 형태였으며 정점간의 농도 차이는 비교적 작았다. Cu는 St. UJ-500 정점에서 표층에서 낮고 저층에서 다소 상승하는 형태가 뚜렷하였고, St. 2와 PH-500은 표층에서 다소 낮았다. 그러나 다른 정점은 수직적으로 비슷하며, 중저층에서 서로 근접하는 농도 분포였다. Zn과 Cd은 최대 채수 수심이 200 ~ 300m인 곳에서는 정점들 간의 차이가 많은데 St. DD-200은 전체적으로 다른 정점보다 낮으며, St. PH-200은 0 ~ 100m 수층에서 낮았다. 한편 St. 2는 50m에서 높은 농도였으며, St. 3은 400m와 500m에서 높은 그 상층 또는 동일 수심의 다른 정점보다 약 2배 높았는데 이것은 시료 채취 과정의 오염문제에 기인하는 것으로 추측된다. 이상의 특성을 제외하면 Zn와 Cd은 전형적으로 표층에서 낮고 수심이 깊어질수록 증가하는 분포를 뚜렷하게 나타낸다. Pb은 분포는 균일하거나 저층에서 높거나 낮은 형태 등의 정점에 따라 다양하고 농도 차이도 크게 나타났다. St. YR-500의 표층과 100m, St. UJ-500과 DD-500의 200m 층에서 높은 농도를 나타내었는데 다른 시기에는 이와 같이 높지 않았으며, 시료 채취 및 전처리 과정의 오염 가능성이 높은 원소중의 하나인 Zn에서는 같은 현상이 나타나지 않았다(Fig. 2). 따라서 이것은 오염에 의한 것인

지 특정 시기의 현상인지 명확하지 않으며, 지속적인 조사 자료 축적에 의하여 판단할 수 있다.

여름 조사에서 각 원소들은 봄과 큰 차이를 나타내었는데 특징적인 것의 하나는 표층에서 높고, 바로 아래 수층에서 급격히 낮아지며, 아래로 가면서 일정하거나 약간 증가하는 경향이 강한 것이다. 표층 농도는 다른 시기보다도 높게 나타내는 경우가 많은데 담수 유입의 영향을 많이 받기 때문이라고 생각된다. 한편 표층에서는 정점 간의 농도 차이가 커지만 중저층에서는 일정 범위로 수렴하는 형태였는데 이것은 봄에 나타난 것과 같다. Co와 Pb은 모든 정점에서 표층에서 가장 높고 아래로 가면서 감소하거나 거의 일정한 분포를 보였다. 정점간의 차이는 수심이 얕은(200 ~ 300m) 곳이 수심이 깊은(500m) 곳보다 크게 나타났다. 이것은 지형적인 조건, 수괴의 구조 변화, 연안 환경의 영향이 더 많이 작용하기 때문으로 보인다. Zn도 위의 원소와 같이 표층이 높고 중저층이 낮는데 St. PH-200, DD-200, YR-500, DD-500 등은 표층 바로 아래층에서 최저 농도를 나타내고 그 이하에서 조금씩 상승하는 분포였고, Cd은 표층에서 높지만 모든 정점이 저층으로 가면서 상승하는 분포였다. St. 2의 저층에서는 대부분 원소의 농도가 상승하는 현상을 보였다.

가을 분포는 불규칙적이긴 하지만 Co, Cu, Pb의 경우 표층이 높고 중저층에서 일정하게 나타나는 정점들이 많으며, Zn과 Cd은 표층이 낮고 저층으로 갈수록 증가하는 경향이 지배적이었다. St. 2의 경우는 200m에서 급격히 상승하고 그 이하에서 서서히 감소하였는데 다른 시기에도 타 정점과 다른 특징적인 현상을 나타내어 수괴 분포의 특이성이 있는 것으로 보인다.

해양에서 미량금속의 공간적 분포는 각 경로별 유입량과 해양 내에서의 생지화학적 특성에 따라 결정된다. 해양에서 미량금속의 주요한 외부 기원으로는 육지 지각 풍화물질 또는 인위적 기원물질의 하천과 대기를 통한 유입, 해저에서 새로 형성되는 지각 또는 열수지역으로부터의 공급이 있다. 해수중의 수직적인 분포는 다양한 형태의 모델이 제시되고 있는데 수직적으로 거의 일정한 경우, 영양염과 비슷한 분포, 표층에서 높고 저층으로 갈수록 감소하는 분포, 중층에서 최소 또는 최대를 나타내는 분포로 대별할 수 있다(Bruland, 1983).

Table 2에는 본 조사 및 다른 연구자들에 의한 자료를 요약하여 제시하였다. Bruland(1980)에 의한 북태평양에서 용존 미량금속의 수직 분포 특성을 보면 Cd은 표층에서 1km까지는 지속적으로 증가하고 그 이하에서는 약간 감소하였으며, Cu는 수심에 따라 구배가 다소 있으나 저층으로 갈수록 계속 증가하였고, Zn과 Ni은 표층부터 수심 1km내외까지는 급격히 증가하고 그 이하에서는 거의 일정하게 유지되는 분포를 보고하였다. 이들의 분포는 영양염의 인산염이나 규산염과 분포 형태와 비슷하였으며, 이는 유기물 형성과 분해에 의한 영향이 크기 때문이다. 즉 표층에서 플랑크톤에 의한 흡수 등으로 입자화되고 중저층에서 분해되어 다시 용출되는 것이다.

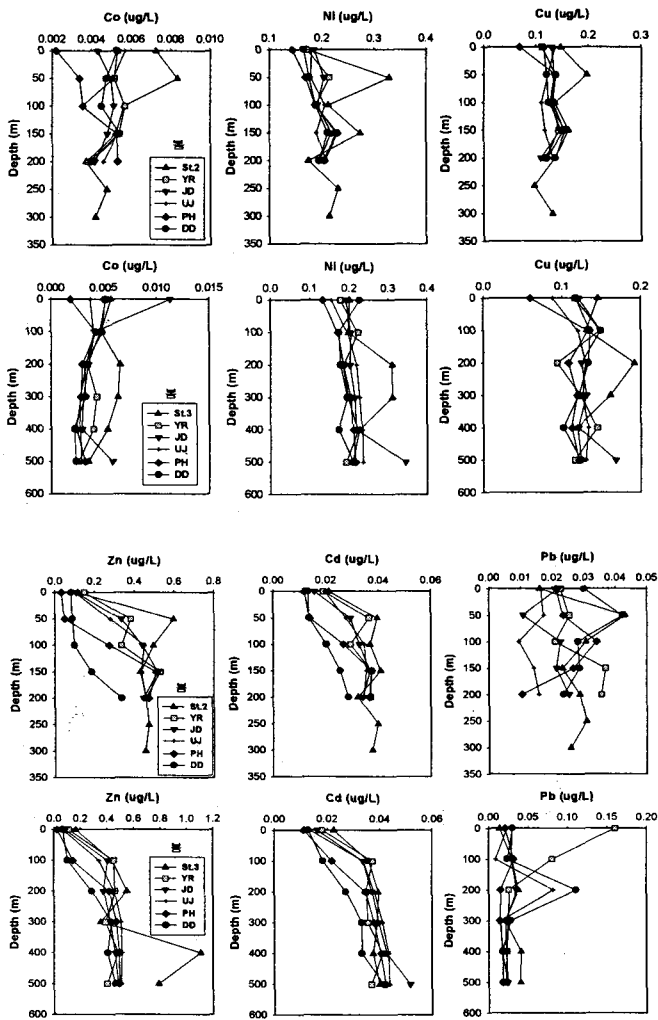


Fig. 2. Vertical distribution of dissolved trace metals in the seawater of the East Sea.

양(1997)의 동해 중앙 해역의 두 정점에 대한 연구에서 Cu는 남쪽의 정점 S의 표층부에서 높고, 그 이하에서는 낮고 일정한 분포를 나타내었는데 0~30m까지는 0.298~0.369µg/L, 그 이하인 50~400m 수층에서 0.133~0.172µg/L로 낮았다. 하지만 북쪽의 정점 N에서는 전체 수층에서 약 0.11µg/L로 정점 S보다 낮고 균일한 분포였다. Ni은 정점 S의 경우 0~300m 층에서는 약 0.25~0.30µg/L로 큰 변화가 없으나 400m에서 0.397µg/L로 높아졌다. 정점 N에서는 표층부터 50m까지는 0.175~0.292µg/L의 범위에서 변화가 있었으며, 그 이하 수층에서는 감소하는 경향이 강하였고 300m에서 0.222µg/L의 낮은 농도 보였지만 저층인 400m에서는 0.309µg/L로 높은 농도를 나타내었다.

참고로 1995년 5월 동해 남서부 해역 표층수의 용존 미량금속 농도는 Cd 0.004~0.010µg/L(평균 0.006µg/L), Cu 0.05~0.15µg/L(평균 0.10µg/L), Zn 0.03~0.14µg/L(평균 0.08µg/L), 그리고 Pb 0.014~0.042µg/L(평균 0.023µg/L)의 범위였는데(한국해양연구소, 1997) Ni을 제외하면 본 조사의 표층 자료보다는 낮았다.

용존 미량금속의 수직 분포는 영양염과 밀접하게 유기 및 무기화 과정을 거치기 때문에 높은 양의 상관성을 가지고 있다고 보고되고 있다(Bruland, 1980; Hunter and Ho, 1991; Saager et al., 1922). 본 조사에서는 각 시기 및 각 정점별로 다양한 형태의 상관관계는 전체적으로 산란된 경우가 많았지만 Ni은 인산-인(R=0.323) 및 규산-규소(R=0.204)와 약한 양의 상관성을 보였으며, Cd은 질산-질소, 인산-인, 규산-규소와 각각 0.451, 0.349, 0.342의 상관계수(R)를 나타내었다.

Table 2. Metal concentrations in sewaters from the East Sea and the North Pacific Ocean.

해역	구분	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	출처
북태평양	천수층	-	0.146-0.670	0.034-0.334	0.006-0.602	0.00026-0.127	-	Bruland (1980)
	표층	-	0.175-0.397	0.108-0.369	-	-	-	양(1997)
"	표층	-	-	0.05-0.15 (0.10)	0.03-0.14 (0.08)	0.004-0.010 (0.006)	0.014-0.042 (0.023)	한국해양연구소(1997)
동해	천수층	0.0018-0.0178 (0.0050)	0.106-0.344 (0.195)	0.060-0.319 (0.130)	0.016-1.563 (0.406)	0.011-0.058 (0.032)	0.002-0.160 (0.028)	본 연구
	표층	0.0018-0.0178 (0.0087)	0.106-0.274 (0.187)	0.060-0.319 (0.168)	0.016-1.563 (0.435)	0.011-0.058 (0.027)	0.002-0.160 (0.047)	본 연구

### 3.3 심층수의 안전성과 변동성

심층수 자원을 산업적 이용하기 위한 중요한 요소 중의 하나는 원수 또는 처리수가 안전성과 안정성을 가지고 지속적으로 공급하는 것이다. 심층수는 수괴의 형성 시기에 따라 그 청정성이 좌우되지만, 다양한 환경 조건 변화에 따라서 나타나는 변동성은 안정적인 공급을 평가하는 중요 지표의 하나이다.

기본적으로 심층수의 채취는 조사 정점의 최저 수심에서 이루어진다는 가정하여 동해 심층수 기반 조사를 위한 6개 해역의 조사의 최저층수의 계절별 자료와 통계 처리한 것을 Table 3에 나타내었다.

우리나라의 해역별 수질 기준에서 사람의 건강보호를 위하여 정해진 중금속 기준은 Cu 20µg/L, Zn 100µg/L, Cd 10µg/L, Pb 50µg/L이며, 환경부의 먹는 물 기준에서는 Cu 1000µg/L, Zn 1000µg/L, Cd 5µg/L, Pb 50µg/L으로 해역별 수질 기준과 비교하면 Pb은 동일하고, Cd은 1/2이지만 Cu과 Zn은 각각 50배, 10배 높다. 본 연구의 심층수 원수는 위의 기준들보다 아주 낮아서 안전성에는 문제가 되지 않는다.

심층수는 안정성을 가지고 있는 것이 특징인데 본 연구에서 나타난 자료에 의하면 해역 및 계절에 따라서 다소 변화가 있었다. 먼저 동일한 지역의 평균 자료에 따르면 Ni, Zn Cd은

Table 3. Statistical results and metal concentrations in the bottom seawater of the East Sea

정점	채취 시기	수심 (m)	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
			ug/L					
St. 2	봄	300	0.0042	0.214	0.131	0.454	0.038	0.026
	여름		0.0036	0.210	0.115	0.743	0.038	0.031
	가을		0.0034	0.171	0.118	0.420	0.037	0.020
	평균		0.0037	0.198	0.121	0.539	0.038	0.026
	표준편차		0.0004	0.023	0.009	0.177	0.000	0.005
St. 3	봄	500	0.0035	0.208	0.125	0.791	0.040	0.041
	여름		0.0025	0.207	0.107	0.450	0.043	0.022
	가을		0.0023	0.176	0.102	0.470	0.039	0.023
	평균		0.0028	0.197	0.111	0.570	0.041	0.028
	표준편차		0.0007	0.018	0.012	0.192	0.002	0.011
YR (200)	봄	200	0.0038	0.202	0.117	0.458	0.037	0.036
	여름		0.0039	0.161	0.100	0.328	0.029	0.012
	가을		0.0040	0.151	0.098	0.330	0.031	0.016
	평균		0.0039	0.171	0.105	0.372	0.032	0.021
	표준편차		0.0001	0.027	0.011	0.074	0.004	0.013
YR (500)	봄	500	0.0026	0.192	0.116	0.402	0.037	0.022
	여름		0.0025	0.198	0.070	0.437	0.039	0.024
	가을		0.0030	0.189	0.122	0.449	0.042	0.020
	평균		0.0027	0.193	0.103	0.429	0.039	0.022
	표준편차		0.0002	0.005	0.028	0.024	0.003	0.002
JD (200)	봄	200	0.0041	0.194	0.108	0.445	0.034	0.025
	여름		0.0040	0.159	0.101	0.355	0.029	0.014
	가을		0.0046	0.170	0.091	0.415	0.033	0.020
	평균		0.0043	0.174	0.100	0.405	0.032	0.020
	표준편차		0.0003	0.018	0.009	0.046	0.003	0.006
JD (500)	봄	500	0.0058	0.344	0.168	0.486	0.052	0.024
	여름		0.0024	0.191	0.098	0.440	0.038	0.020
	가을		0.0029	0.196	0.116	0.483	0.043	0.014
	평균		0.0037	0.244	0.127	0.470	0.044	0.019
	표준편차		0.0019	0.087	0.037	0.026	0.007	0.005

Table 3. Continued

정점	채취 시기	수심 (m)	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
			ug/L					
UJ(200)	봄	200	0.0046	0.207	0.131	0.458	0.034	0.016
	여름		0.0100	0.165	0.092	0.306	0.026	0.015
	가을		0.0047	0.188	0.120	0.407	0.035	0.017
	평균		0.0064	0.186	0.114	0.390	0.032	0.016
	표준편차		0.0031	0.021	0.020	0.078	0.005	0.001
UJ (500)	봄	500	0.0029	0.235	0.130	0.509	0.044	0.025
	여름		0.0030	0.180	0.106	0.345	0.038	0.021
	가을		0.0026	0.230	0.130	0.496	0.047	0.021
	평균		0.0028	0.215	0.122	0.450	0.043	0.022
	표준편차		0.0002	0.030	0.014	0.091	0.005	0.002
PH (200)	봄	200	0.0053	0.204	0.120	0.473	0.037	0.011
	여름		0.0051	0.239	0.151	0.353	0.029	0.020
	가을		0.0038	0.186	0.104	0.445	0.036	0.008
	평균		0.0047	0.210	0.125	0.423	0.034	0.013
	표준편차		0.0008	0.027	0.024	0.063	0.004	0.007
PH (500)	봄	500	0.0032	0.215	0.121	0.497	0.042	0.018
	여름		0.0033	0.226	0.118	0.347	0.035	0.023
	가을		0.0021	0.194	0.106	0.471	0.044	0.019
	평균		0.0029	0.212	0.115	0.438	0.040	0.020
	표준편차		0.0007	0.016	0.008	0.080	0.005	0.002
DD (200)	봄	200	0.0039	0.193	0.136	0.336	0.029	0.024
	여름		0.0034	0.198	0.112	0.414	0.033	0.021
	가을		0.0033	0.190	0.129	0.412	0.033	0.022
	평균		0.0035	0.194	0.125	0.387	0.031	0.022
	표준편차		0.0004	0.004	0.012	0.044	0.002	0.001
DD (500)	봄	500	0.0024	0.209	0.124	0.464	0.042	0.019
	여름		0.0027	0.226	0.117	0.420	0.041	0.026
	가을		0.0018	0.162	0.089	0.344	0.033	0.013
	평균		0.0023	0.199	0.110	0.410	0.039	0.019
	표준편차		0.0005	0.033	0.019	0.061	0.005	0.006

최대채수 수심 200~300m보다 500m인 정점에서 더 높게 나타

나는 경우가 많은데 이것은 수심이 깊어짐에 따른 입자의 무기화가 더 오랜 기간 진행되었기 때문으로 보인다. Table 3에 나타낸 각 원소에 대한 정점별 표준 편차는 시료 채취 및 분석 과정의 불확실성이 내재되어 있지만 심층수 환경의 미량금속 안정성을 의미하며, 표준편차가 클수록 변동이 크다고 볼 수 있다. 조사 자료 중에서 원인이 명확하지 않은 일시적으로 높은 값 때문에 표준편차가 높게 나타나기도 한다. 전체적으로 각 원소에 대하여 가장 변동이 큰 정점은 Co, Ni, Cu, Cd은 JD-500, Zn은 St. 3, Pb는 YR-200이었으며, 변동이 작아서 안정성이 높은 곳은 Co는 YR-200, Ni DD-200, Cu PH-500, Zn YR-500, Cd St. 2, Pb UJ-200이었다.

5. 결론

동해의 육상형 해양 심층수 자원 기반 환경 연구의 일부로 청결기술을 적용하여 해수 중의 용존 미량금속(Cd, Co, Ni, Pb, Zn) 농도 분포와 변화를 조사하였다. 강원과 경북 지역에 각각 3곳을 선정하고, 각 지역마다 최대 채수 수심 각각 200-300m와 500m에서 수직 및 계절별로 실시하였다. 본 연구의 미량금속을 위한 연안해수 표준물질(CASS-4)의 분석 결과 각 원소 평균 회수율은 Co의 89.4%에서 Cd의 99.8%의 범위였다. 용존 미량 원소의 분포는 해역 및 시기적인 변화가 다양하게 나타났는데 표층에서는 정점간에 큰 차이를 나타내었지만 중저층으로 가면서 농도의 변동 폭이 감소하는 경향이 강하였다. 여름에는 표층에서 다른 시기보다 높은 농도를 나타내었고, 바로 아래 수층에서 급격히 낮은 분포였다. St. 2는 전체 조사시기마다 저층에서 변화가 크게 나타나서 다른 정점과 다른 수괴 분포 특성이 있는 것으로 보인다. Co, Cu, Pb은 수직적으로 불규칙적인 분포를 나타내었으며, Cd, Ni, Zn의 경우는 계절적으로 변화가 있

으나 영양염 의존형으로 저층으로 갈수록 증가하는 경향이 뚜렷하였다. 동해 심층수 원수는 해역별 수질 기준과 먹는 물 기준을 만족하였으며, 심층수 미량금속의 계절적 변동성은 원소 및 정점별로 차이가 있었으며, JD-500에서 Co, Ni, Cu, Cd 등으로 변화가 크게 나타났으며, 안정된 정점은 각 원소별로 다르게 나타났다.

### 감사의 글

본 연구는 해양수산부의 지원으로 수행된 '해양심층의 다목적이용 개발(5)'연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 이동수, 김경태, 홍기훈, 이수형(1989), 한강 본류와 지류의 중금속 농도분포, 한국수질보전학회지, 제5권, 제1호, pp.47-56.
- [2] 양재삼(1997), 동해 중앙 해역의 용존 Cu와 Ni의 수직적 분포, 한국해양학회지 바다, 제2권, 제2호, pp. 117-124.
- [3] Bruland, K.W.(1980), Oceanographic distributions of cadmium, zinc, nickel, and copper in the north Pacific. *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 47, pp.176-198.
- [4] Bruland, K.W.(1983), Trace Elements in Seawater. pp.157-220. In Riley, J.P. and Chester, R. eds., *Chemical Oceanography(8)*. Academic Press, New York.
- [5] Bruland, K.W., Donat J.R. and Hutchins, D.A.(1991), Interactive influences of bioactive trace metals on biological production in oceanic waters. *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 36, pp.1555-1577.
- [6] Burton, J.D. and Statham, P.J.(1990), Trace metals in seawater. pp.5-25. In Furness, R.W. and Rainbow P.S. eds., *Heavy metals in the marine environment*. CRC Press, Boca Raton, U.S.A.
- [7] Danielsson, L., Magnusson, B. and Westerlund, S. (1978), An improved metal extraction procedure for the determination of trace metals in seawater by atomic absorption spectrometry with electrothermal atomization. *Anal. Chim. Acta.*, Vol. 98, pp.47-57.
- [8] Hunter, K. A. and Ho, F.W.T.(1991), Phosphorus-cadmium cycling in the northeast Tasman Sea, 35-40°S. *Mar. Chem.*, Vol. 33, pp.279-298.
- [9] Saager, P.M., De Baar, H.J.W. and Howland, R.J. (1992), Cd, Zn, Ni and Cu in the Indian Ocean. *Deep-Sea Res.*, Vol. 39, pp.9-35.
- [10] Windom, H.L., Byrd, J.T. Smith R.G.Jr. and Huan, F.(1991), Inadequacy of NASQAN data for assessing metal trends in the Nation's Rivers. *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 25, 1137-1142.
- [11] Yeats, P.A. and Campbell, J.A.(1983), Nickel, copper, cadmium and zinc in the Northwest Atlantic Ocean. *Mar. Chem.*, Vol. 12, pp. 43-58.