

## 동해심층수의 자원성 해석 및 활용방향 연구

김현주·정동호·문덕수·신필권  
한국해양연구원 해양개발시스템연구본부

### A Study on the Characteristics of Deep Ocean Water Resource of the East Sea and Its Utilization

H.J. Kim, D.H. Jung, D.S. Moon and P.K. Shin  
Ocean Development System Laboratory, KRISO, KORDI

**Key Word** : Deep Ocean Water (해양심층수), Resource Characteristics (자원 특성),  
Utilization Method (이용방안), East Sea (동해)

#### Abstract

Recently, deep ocean water (DOW), which is plentiful in the East sea, has been recognized a global resources for 21st century. To clarify the characteristics of DOW of the East Sea, the quality of DOW has been investigated and analyzed for 5 years in situ and laboratory in the viewpoints of stability of low-temperature, mineral balance, rich nutrition and cleanness. And it characteristics were compared with foreign DOW used for commercial applications. This study do finally suggest the various utilization methods of DOW based on each characteristics and suitable examples for fisheries and industrial purpose.

## 1. 서 론

환경친화적 순환재생형 종합자원인 해양심층수의 다목적 개발을 위한 연구개발이 청정 자원의 확보 및 이의 유효 이용을 위해 국책사업으로 진행되고 있다. 해양심층수는 식수, 식량, 에너지 확보 및 환경 개선을 위한 종합 자원으로써 다목적 개발과 다단계 이용이 주목되고 있다.

해양심층수의 다목적 이용을 위해 가장 먼저 검토되어야 할 것이 해양심층수의 자원성에 대한 조사 및 분석이다. 한국해양연구원은 동해에 부존하고 있는 해양심층수 자원의 특성에 대해 다년간 조사 및 분석을 실시하여 왔고, 이를 정리하여 효율적인 활용방향을 정립하고 있다.

본 연구는 해양심층수의 정의 및 특성을 조사 결과를 바탕으로 정리하여 외국의 사례와 비교하고, 자원적 특성을 효과적으로 활용하기 위한 방향을 검토하고자 한 것이다.

## 2. 자원성 조사 및 정리

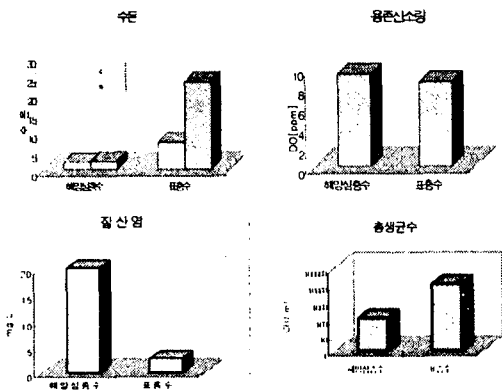
해양 심층수는 태양광이 도달하지 않는 수심 200m 이상의 깊은 곳에 존재하여 연중 안정된 저온성을 유지하고 있으며, 세균, 병원균 등의 유기물은 거의 없을 뿐 아니라 해양식물의 생장에 필수적인 영양염류나 미네랄 등의 무기물은 풍부한 해수자원이다. 즉, 해양 심층수는 저온성, 청정성, 안정성, 부영양성, 미네랄성, 숙성성 등의 특징을 가진 유용한 해양자원이며, 태양광에너지원으로 하는 물질순환계 중에서 생성되어 해수로서 재생 및 순환되는 막대한 청정자원이다.

해양심층수에 대한 정의는 다양하게 이루어지고 있지만 해양자원학적 측면에서 일본 수산심층수협의회(2000년 11월)는 "해양심층수란? 광합성에 의한 유기물 생성이 일어나지 않고 분해가

탁월하며, 겨울철 해수의 연직 혼합작용이 도달하지 않는 수심 이하에 있는 해수"라고 정의하였다.

이로부터 해양심층수의 특성을 저온성, 미네랄성, 부영양성 및 청정성의 4대 특성으로 분류하고 있으며, 여기에 높은 수압 아래에서 오랜 동안 숙성되었다는 의미의 숙성성을 부가한 5대 특성으로 분류하기도 한다.

우리나라 동해의 200m 이하에 존재하는 해양심층수는 이러한 자원적 특성을 보유하고 있는 고품위 해수자원인 것으로 밝혀지고 있다. 이를 위한 조사 및 분석이 2000년부터 매월 이루어지고 있으며, 일일반적 특성은 [Fig 1]와 같이 정리할 수 있다. 해양심층수의 난개발을 방지하고, 지속가능한 개발 및 이용을 위한 자원 및 관리 기준 정립을 위한 기초가 될 것이다.



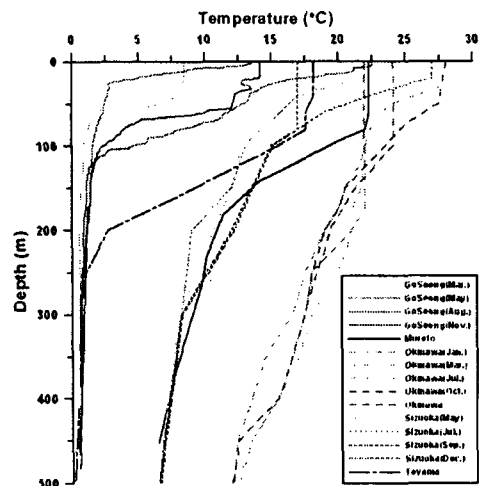
[Fig. 1] General property of deep ocean water

### 3. 외국 심층수와의 비교 분석

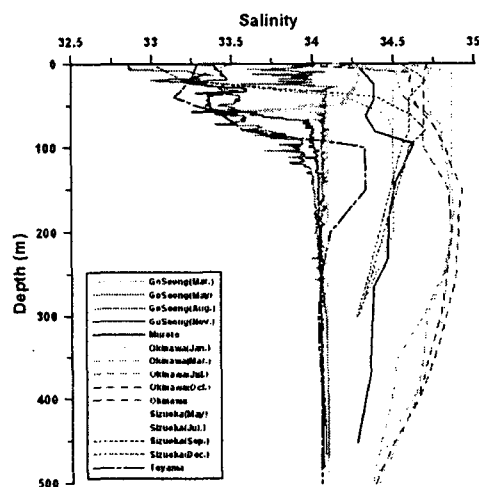
해양심층수의 4대 특성 또는 5대 특 비교하고, 자원 품질이 좋다 나쁘다 하는 것은 큰 의미가 없다. 종합적 자원이므로 각 특성이 용도에 따라 유리하기도 불리하기도 할 수 있기 때문이다. 그러나, 종합자원의 효율적 이용을 위한 용도를 정하기 위하여 그 특성을 규명하고, 외국의 해양심층수와 그 용도에 비추어 정리할 필요가 있다.

동해심층수의 4대 특성을 살펴보고 활용방안을 정리하기 위하여 외국의 해양심층수, 일본의 태평양계 및 동해계 해양심층수와 비교하였다.

저온성을 나타내는 수온의 연직분포를 [Fig. 2]에 나타내었다. 태평양계인 오키나와는 수심 600m 이상이 되어야 10℃ 이하로 되고, 코우치와 시즈오카는 200m 이상이 되어야 10℃ 이하가 된다. 그러나, 동해계인 토야마에서는 수심 150m 이상이어야 10℃ 이하로 내려가고 200m에서 3℃로 감소하지만 우리나라 강원북부 해역에서는 50m 이상만 되면 10℃ 이하가 되며, 100m 이상만 되어도 2℃이하로 내려감을 볼 수 있다. 따라서, 우리나라 동해의 해양심층수는 일본측의 태평양계 및 동해계에 비해서 얇은 수심에서 안정적인 저온성을 보유하고 있음을 알 수 있다.



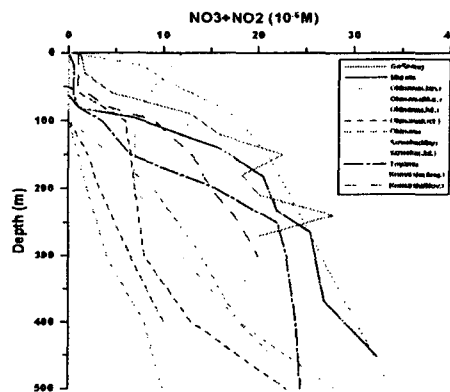
[Fig. 2] Profiles of water temperature



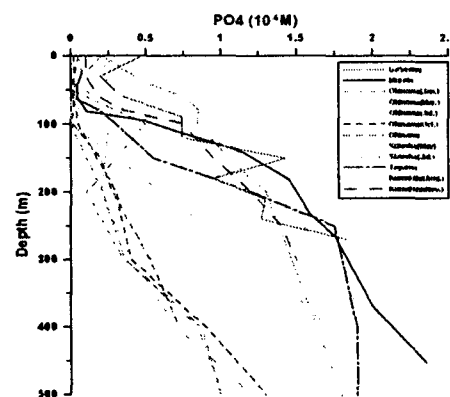
[Fig. 3] Profiles of salinity

미네랄성을 대표할 수 있는 염분특성에 대해서는 [Fig.3]에 정리하여 비교하였다. 태평양계인 오키나와의 경우, 표층에서 수심 100~200m 까지가 평균 34‰에서 34.9‰까지 증가하였다가 수심의 증가에 따라 34.2‰까지 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한, 코우치나 시즈오카도 표층의 33.2‰~34.5‰에서 수심 50m까지 증가하다가 다시 깊어짐에 따라 33.4‰로 감소함을 볼 수 있다. 코우치도 표층 34.3‰에서 수심 100m 부근까지 34.6‰로 증가하다가 34.3‰로 감소하였다. 그러나, 토야마에서는 표층에서 33.2‰로부터 수심 100m 부근에서 34.33‰로 증가하였다가 34‰로 감소하였고, 강원도 북부해역의 경우는 표층은 32.5‰~34‰로 계절적 변동이 크지만 수심 60m 까지 34‰로 증가하였다가 그 이상에서는 거의 일정한 34‰ 정도의 염분을 나타냄을 볼 수 있다.

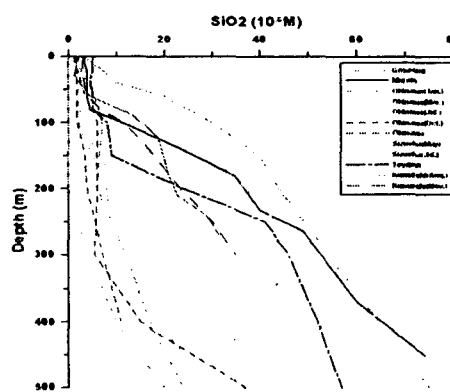
부영양성을 살펴보기 위해 영양염의 연직분포를 비교하였다. [Fig.4]에 질산염, [Fig. 5]에 인산염, [Fig. 6]에 규산염을 나타내었다. 그림으로부터 알 수 있듯이, 표층의 질산염은  $2\mu\text{M}$  이하이지만 수심 200m의 심층수는 약  $20\mu\text{M}$ 에 이르러 10배 이상이 되는 것을 알 수 있다. 태평양계인 오키나와의 경우 200m 수심층의 질산염은  $2\text{-}6\mu\text{M}$ 에 불과하나 코우치나 시즈오카의 경우는  $20\mu\text{M}$  이상으로 높은 농도를 나타내고 있다. 동해의 경우 북해도측인 쿠마이시는 약  $8\text{-}15\mu\text{M}$  이지만 토야마현의 토야마만의 경우 약  $15\mu\text{M}$ 에 이르는 것을 알 수 있다. 한편, 우리나라 강원도 북부해역의 심층수는 약  $20\mu\text{M}$  정도로서 질산염이 상대적으로 풍부함을 알 수 있다. 수심별 인산염의 분포특성을 [Fig.5]에 비교하고 있다. 표층의 질산염은  $0.2\mu\text{M}$  이하이지만 수심 200m의 심층수는 약  $0.2\text{-}1.5\mu\text{M}$ 에 이르러 약 6배 정도 높은 인산염 농도를 보임을 알 수 있다. 태평양계인 오키나와의 경우 200m 수심층의 질산염은  $0.2\text{-}0.3\mu\text{M}$ 에 불과하나 코우치는  $1.5\mu\text{M}$ , 시즈오카는  $1.2\text{-}1.3\mu\text{M}$ 으로 높은 농도를 나타내고 있다. 한편, 동해의 경우, 북해도 쿠마이시는 약  $0.6\text{-}1.1\mu\text{M}$  이지만 토야마현의 토야마만의 경우 약  $1.2\mu\text{M}$  정도였다. 우리나라 강원도 북부해역의 심층수는 약  $1.2\mu\text{M}$  정도로서 인산염 농도를 보여 북해도나 토야마의



(Fig. 4) Profiles of nitrogen concentration

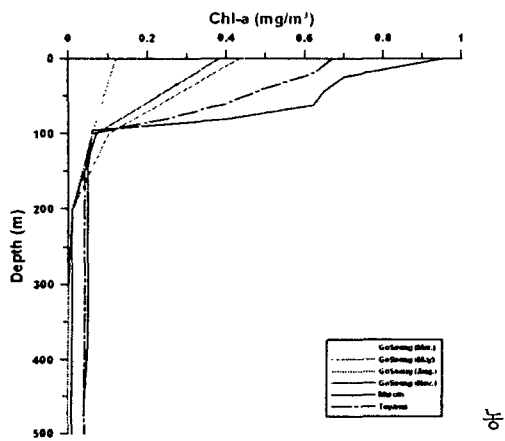


(Fig. 5) Profiles of Phosphorus concentration



(Fig. 6) Profiles of silicon concentration.

심층수와 유사함을 알 수 있다. 수심별 규산염의 분포특성을 [Fig. 6]에 비교하였다. 표층의 질산염은  $5\mu\text{M}$  이하이지만 수심 200m의 심층수는 최대  $45\mu\text{M}$ 에 이르러 약 10배 정도 높은 인산염

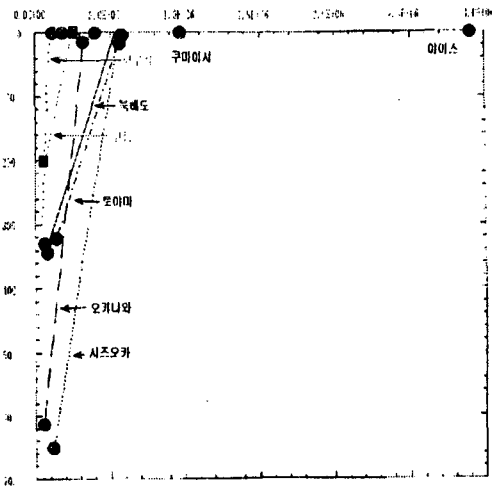


[Fig. 7] Profiles of chlorophyll a

도를 보임을 알 수 있다. 태평양계인 오키나와와  
 경우 200m 수심층의 질산염은 7 $\mu$ M 이하였으나,  
 코우치는 35 $\mu$ M, 시즈오카는 35-45 $\mu$ M으로 높은  
 농도를 나타내고 있다. 한편, 동해의 경우, 북해  
 도 쿠마이시는 약 10-20 $\mu$ M 이지만 토야마현의  
 토야마만의 경우 약 20 $\mu$ M 정도였다. 우리나라  
 강원도 북부해역인 고성 심층수는 약 20 $\mu$ M 정  
 도로써 북해도나 토야마 심층수와 유사한 인산  
 염 분포특성을 보유하고 있는 것으로 나타났다.

청정성은 다양한 지표에 의해 살펴 볼 수 있  
 으며, 유기물, 중금속, 방사능오염 등으로부터 안  
 전한 지에 대해 알아볼 수 있다. [Fig. 7]의 우측  
 에 있는 엽록소 농도의 분포를 살펴보면 수심에  
 따라 급격하게 감소함을 볼 수 있다. 표층의 엽  
 록소 농도는 0.2-1 mg/m<sup>3</sup> 정도이지만 대부분의  
 도나 계절별 연직혼합 특성 등에 따라 달라질  
 수 있으나 최소 200m 이하가 되어야 그 안정성  
 이 보장될 수 있음을 암시하는 것이다. 중금속,  
 세균 및 방사능 오염에 대해서도 조사 분석하여  
 안전함을 확인하였고, 육상 유입오염원, 해상운  
 송 불동량, 원유 등의 잠재적 환경 유해물질의  
 이동 등이 적어 청정한 것으로 나타났다. 총세균  
 수도 수심에 따라 감소하는 것으로 알려져 있  
 으며, 이는 Fig. 8에 나타난 것처럼 고성 해역에서  
 는 표층수에서 640 CFU/ml였지만 심층수에서는  
 8 CFU/ml 이하로 청정하였고, 대장균군도 표층  
 수에서는 30 MPN/ml가 존재하였지만 심층수에는  
 2 MPN/ml 이하로써 청정함을 알 수 있다.

이를 종합하여 동해심층수의 특성을 외국의  
 사례와 비교하여 [Table 1]에 나타내었다.



[Fig. 8] Profiles of total number of germs

#### 4. 동해심층수의 활용방안

해양심층수의 자원성은 종합적이므로 다양하  
 게 활용할 수 있을 것이다. 이를 검토하기 위해,  
 외국의 사례를 살펴보면 [Table 2]와 같이 정리  
 될 수 있다. 이용목적에 따라 소요량 및 활용시  
 농도, 소요 특성 등을 정리하여 나타내었다.

해양심층수를 수산 및 산업을 활성화하기 위  
 해 적용할 분야별 가용 특성을 [Table 3] 및  
 [Table 4]에 나타내었다. 수산분야의 경우, 친어  
 관리, 사료배양, 양식, 축양 및 증식 등에 활용할  
 수 있으며, 산업분야에서는 에너지, 담수화, 물질  
 추출, 식품, 의약건강, 농업 등에 활용할 수 있을  
 것이다.

[Table 3] Utilization methods for fisheries

구분	친어 관리	사료 배양	종묘 생산	양식	축양	증식	비육 화
저온성	◎		◎	◎	◎	◎	
미네랄성		◎				◎	◎
부영양성		◎		◎		◎	◎
청정성	◎		◎	◎	◎	◎	

[Table 4] Utilization methods for industry

구분	에너 지	담수 화	물질 추출	식품	의약 건강	농업
저온성	◎					◎
미네랄성		◎	◎	◎	◎	◎
부영양성			◎	◎		◎
청정성		◎		◎	◎	

[Table 1] Synthetic comparison of quality of DOW resource of the East Sea and foreign sites.

분석항목	기호	단위	건강관리기준 (건강항목)	수질기준 (먹는물)	일반해수	토야마	코우치	가고시마	강원 고성	비 고
카드뮴	Cd	mg/L	0.01	<0.01mg/L	0.00005	0.00003	0.000111	0.00101만	<0.0005	영양염형 원소
납	Pb	mg/L	0.01	0.05mg/L 이하	0.00003	0.00025	0.00041	0.0013	0.002	스캐벤지형 원소
비소	As	mg/L	0.01	0.05mg/L 이하	0.0023	<0.00002	-	0.000501만	N.D	영양염형 원소
수은	T-Hg	mg/L	0.0005	불검출	0.00005	<0.0002	-	0.00005	N.D	-
셀렌	Se	mg/L	0.01	0.01mg/L 이하	0.00045	1.1	0.5	1.23	-	영양염형 원소
불소	F	mg/L	0.8	1.5mg/L 이하	1.3	0.26	-	0.3	0.3	보존형 원소
질산성질소	NO3--N	mg/l	-	10mg/L 이하	0.5	<0.02	-	0.00201만	0.4	영양염형 원소
아질산성질소	NO2--N	mg/L	10	-	-	-	-	ND	<0.001	영양염형 원소
전 시안	CN-	mg/L	불검출	불검출	-	-	-	0.00501만	-	-
6가 크롬	Cr(VI)	mg/L	0.05	<0.05mg/L	0.0006	-	-	ND	-	영양염형 원소
알킬수은	R-Hg	mg/L	불검출	불검출	-	-	-	ND	ND	-
PCB		mg/L	불검출	-	-	-	-	<0.002	ND	-
디크로로에탄		mg/L	0.02	0.02	-	-	-	<0.0002	ND	<0.001
사염화탄소		mg/L	0.002	0.002	-	-	-	<0.0004	ND	-
1,2-디크로로에탄		mg/L	0.004	-	-	-	-	<0.002	ND	-
1,1-디크로로에틸렌		mg/L	0.02	0.03	-	-	-	<0.004	ND	-
시스-1,1-디크로로에틸렌		mg/L	0.04	-	-	-	-	<0.0005	ND	-
1,1,1-트리크로로에탄		mg/L	1	0.1	-	-	-	<0.0006	ND	-
1,1,2-트리크로로에탄		mg/L	0.006	-	-	-	-	<0.002	ND	-
트리크로로에틸렌		mg/L	0.03	0.03	-	-	-	<0.0005	ND	-
테트라크로로에틸렌		mg/L	0.01	0.01	-	-	-	<0.0002	ND	-
1,3-디크로로프로펜		mg/L	0.002	-	-	-	-	<0.0006	ND	-
티우람		mg/L	0.006	-	-	-	-	<0.0003	ND	-
시아진		mg/L	0.003	-	-	-	-	<0.001	ND	-
티오벤칼프		mg/L	0.02	-	-	-	-	<0.001	ND	-
벤젠		mg/L	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-
붕소	B	mg/L	1	0.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	주요원소
브롬	Br	mg/L	-	-	67.3	67.3	67.3	67.3	67.3	주요원소
용존산소량	DO	mg/L	-	-	-	-	0.9	1.1	6.59	-
화학적 산소요구량	COD	mg/L	-	10	-	-	-	0.5	0.2	-
대장균 군수(MPN법)		MPN/100ml	1000MPN	불검출	-	-	-	21	-	-
일반세균 수		MPN/100ml	-	100 CFU/ml	-	7.6	7.9	7.8	<3.0	-
pH값(수소이온농도)	pH	-	-	5.8~ 8.5	8.0	-	-	-	7.82	-
전 질소	T-N	mg/L	-	-	0.5	0.056	-	0.048	0.45	영양염형 원소
전 인	T-P	mg/L	-	-	0.07	<0.05	-	0.003	0.03	영양염형 원소
암모니아성 질소	NH4+-N	mg/L	-	0.5 mg/L	-	-	-	0.049	0.04	-
인산태 인	PO43--P	mg/L	-	-	0.218	0.218	-	0.200	0.2	-
염소이온	Cl-	mg/L	-	250 mg/L	19,870	19,870	19,870	19,870	19,870	주요원소
나트륨	Na	mg/L	-	-	11,050	11,050	11,050	11,050	11,050	주요원소
칼륨	K	mg/L	-	-	416	416	416	416	416	주요원소
칼슘	Ca	mg/L	-	-	4.22	4.22	4.22	4.22	4.22	주요원소
마그네슘	Mg	mg/L	-	-	1326	1326	1326	1326	1326	주요원소
알루미늄	Al	mg/L	-	0.2 mg/L	0.005	0.00004	-	-	-	스캐벤지형 원소
코발트	Co	mg/L	-	-	0.0008	0.00013	0.000173	0.000099	0.0001	-
구리	Cu	mg/L	-	1.0mg/L 이하	0.003	0.00053	0.000378	-	0.001	영양염/ 스캐벤지형
니켈	Ni	mg/L	-	-	0.002	0.0007	-	-	0.005	영양염형 원소
크롬	Cr	mg/L	-	-	0.0006	0.00099	-	-	0.0004	영양염형 원소
바나듐	V	mg/L	-	-	0.0015	0.0013	0.000153	0.000098	-	-
망간	Mn	mg/L	-	0.3mg/L 이하	0.002	0.0022	0.00071	0.0024	0.002	-
아연	Zn	mg/L	-	0.3mg/L 이하	0.005	0.0053	0.00773	-	0.005	영양염형 원소
몰리브덴	MoO4	mg/L	-	-	0.01	0.018	0.000281	-	0.0001	보존성 원소
철	Fe	mg/L	-	0.3mg/L 이하	0.03	0.13	-	-	-	-
루비듐	Rb	mg/L	-	-	0.12	-	-	-	-	보존성 원소
알곤	Ar	mg/L	-	-	0.45	-	-	-	-	보존성 원소
우라늄	U	mg/L	-	-	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	보존성 원소
황산이온	SO42-	mg/L	-	200 이하	928	928	928	928	928	주요원소
탄산수소이온	HCO3-	mg/L	-	-	28	28	28	28	28	주요원소
요소 이온	I-	mg/L	-	-	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	영양염형 원소
전 유기탄소	TOC	mg/L	-	-	3.1	2.49	-	2.4	-	-
용성규소	SiO4	mg/L	-	-	1	0.01	0.045	<0.1	1.34	영양염형 원소
바륨	Ba	mg/L	-	-	0.03	0.03	0.03	0.03	0.006	영양염형 원소
리튬	Li	mg/L	-	200mg/L 이하	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	보존성 원소
스트론튬	Sr	mg/L	-	-	8.1	8.1	8.1	8.1	7.96	주요원소

[Table 2] Safety requirements against DOW for various applications

심층수 이용 목적	사용량 (톤/일)	사용 농도	청정(안전)성 구분						
			중금속 농도	유기물 농도	중금속 농도	중금속 농도	중금속 농도	중금속 농도	중금속 농도
아토피성 피부염 치료	<1	25~100%	○	○	○	○	○	○	○
식품생산·가공 음료수 (심층수 직접이용) 음료수 (심층수 탈염이용) 농축미네랄 양조주류 (청주, 맥주) 발효식품 (간장, 미소, 된) 두부	<1~2000	100%  3~100% 100% <20%	○ ● ○ ○ ○ ○	○ - ○ ○ ○ ○	○ - ○ ○ ○ ○	○ ● ○ ○ ○ ○	○ - ○ ○ ○ ○	○ - ○ ○ ○ ○	○ - ○ ○ ○ ○
화장품 생산 화장수 (심층수 직접이용) 화장수 (심층수 탈염이용)	25 1 24	5% 100%	○ ●	○ -	○ -	○ ●	○ -	○ -	○ -
타라소테라피 축열용 빙제조 수산물 세정수 수산생물 증묘생산 수산생물 증양식, 축양 공조·발전 냉각수·취수 설비유지	100 100 500~600 50~1000 100~20000 50~1000000	5~100% 50~100% 100% 50~100% 100% 50~100% 100%	○ ○ ○ ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○ -	○ ○ ○ ○ ○ -	○ ○ ○ ○ ○ ●	○ ○ ○ ○ ○ -	○ ○ ○ ○ ○ -	○ ○ ○ ○ ○ -

(○) : 심층수의 청정(안전)성이 직접 효과가 있는 것  
 (●) : 심층수의 청정(안전)성에 의해 처리 효율화 효과가 있는 것  
 (-) : 관계 없음

## 5. 결론

우리나라 동해에 풍부하게 부존하고 있는 해양심층수 자원의 효율적 개발 및 이들을 통한 해양 신산업 창출 및 연안역 활성화를 위한 자원적 특성에 대한 조사 및 분석을 실시하였다.

그 결과, 동해심층수는 해양심층수의 4대 특성을 다음과 같이 만족하고 있음을 알 수 있었다.

- 1) 저온성은 외국의 동일한 수심에 비해 낮은 저온성을 유지하고 있으며, 일본의 동해계와 유사한 특성을 보여 에너지 활용 가능성이 높았다.
- 2) 미네랄은 외국의 심층수와 유사하였으며, 수심 200m 아래에서는 태평양계보다 낮은 염분으로 안정된 특성을 유지하고 있었다.
- 3) 부영양성은 수심이 깊어짐에 따라 높아졌고, 그 분포특성은 일본의 동해계와 유사하였다.
- 4) 청정성은 심층수가 유해 중금속 및 유기물, 방사능 오염 등으로부터 매우 안전하게 나타났고, 강원 북부의 경우 표층수도 비교적 청정함을 알 수 있었다.

이러한 각 자원성은 수산 및 산업분야에서 효율적으로 활용될 수 있을 것이며, 이에 대한 요구조건과 활용방향을 정리하였다.

## 사 사

본 연구는 해양수산부가 시행하고 있는 “해양 심층수의 다목적 개발(3)” 연구결과의 일부이다.

## 참고문헌

- [1] 김현주 등 (2000): 동해 심층수의 다목적 개발 기획연구. 해양수산부, p.77.
- [2] 김현주 등 (2001): 해양 심층수의 다목적 개발(1). 해양수산부, p.243.
- [3] 김현주 등 (2002): 해양 심층수의 다목적 개발(2). 해양수산부, p.454.
- [4] 김현주 (2000): 동해 심층수의 특성 및 취수 기술. 해양수산부, 제1회 동해 심층수개발 이용심포지움 요지집, 19~26.
- [5] 김현주, 문덕수, 정동호, 윤상준 (2004): 해양 심층수의 안정성 조사 및 분석 (1), 해양해양환경공학회지, 7(1), 30~34.
- [6] 문덕수, 정동호, 신필권, 김현주 (2004): 동해 심층수의 수괴 안정성, 한국해양공학회 춘계학술대회 논문집, 285~289.