한국해양환경공학회지
Journal of the Korean Society
for Marine Environmental Engineering
Vol. 7, No. 1. pp. 30-34, February 2004

해양 심층수의 안정성 조사 및 분석 (I)

김현주[1,†] · 문덕수[1] · 정동호[1] · 윤상준[2]
[1]한국해양연구원, [2]KT Submarine

Investigation and Analysis of the Characteristic Stability of Deep Ocean Water (I)

H. J. Kim[1,†], D. S. Moon[1], D. H. Jung[1], and S. J. Yoon[2]
[1]*Ocean Development System Laboratory, Korea Ocean Research & Development Institute/Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KORDI/KRISO), 171 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea*
[2]*KT Submarine, 433-1, Songjong-dong, Haeundae-gu, Busan 612-040, Korea*

요 약

동해 해양심층수의 자원적 안정성을 평가하기 위하여 2001년 3월부터 2002년 2월까지 조사한 해양조사 및 수질분석이 수행되었다. 해양심층수 시범개발해역 및 강원북부 주변해역에 대한 해양자원적 수질특성의 시공간적 변동이 분석 및 비교되었다. 특히, 자원성이 인증된 해양심층수의 안정적 공급을 위해 필요한 취수 수심의 결정을 위해 월별 수온 및 염분의 연직분포에 대한 조사해석 및 수질분석 이 이루어져 고찰되었다.

Abstract – To verify the characteristics of deep ocean water, oceanographic observation and qualitative analysis were carried out from March of 2001 to February of 2002. Spatiotemporal variation of water quality of deep ocean water were discussed from survey results around development site and along northeastern coastal sea of Korean peninsular. Vertical distribution of water temperature and salinity were measured, and sampled seawater were analyzed in order to determine the definition of deep ocean water resource and the position of intake device for supplying qualified deep ocean water resource.

Keywords: Deep Ocean Water(해양심층수), CTD(수온염분계), Maximum variation(최대변동), Stability(안정성)

1. 서 론

최근, 자원고갈과 환경오염이 심화되면서 환경친화적 순환재생형 자원 개발의 필요성이 절실하게 대두되고 있다. 대체 에너지, 대체 수자원 등으로 분류되고 있는 많은 자원들이 자원과 환경문제를 동시에 만족시키기 위하여 개발되어 왔으며, 일부는 실용화되고 있는 것들도 있다. 그러나, 많은 대체자원들이 실용화를 이루지 못하고 개발이 지연되고 있는 것은 가용량의 한계나 환경을 고려하지 못한 일방적인 경제성 평가에 기인한 것으로 평가된다(홍석원, 김현주, 강윤구[1998]).

해양심층수는 70년대의 석유파동으로부터 대체에너지원으로서 가능성 타진을 위해 취수되거나 수산양식을 위한 청정사육수 및 수온조절수로서 취수되어 왔으나 해양심층수가 가지는 복합적인 자원성에 착안하여 다양한 산업적 용도로 활용되면서 세인의 주목을 받기 시작하였다(김 등[2000], [2001], [2002]). 선진 해양심층수 자원개발국에서는 해양심층수를 활용한 다양한 산업들이 창출되고 있고, 일본에서는 해양심층수 비즈니스의 시장규모를 약 2조원으로 평가하고 있는 실정이다(어재선, 안희도, 남기두[2002]). 더구나 해양 심층수의 중요성은 이러한 산업적 가치를 넘어 인류를 위한 생명과 환경의 측면에서 보다 큰 공익적 자원으로서 개발 가치가 있는 것으로 판단된다(송무석 [2003]).

우리나라에서도 해양심층수 자원을 개발하여 효율적으로 활용하기 위한 연구개발이 추진되고 있으며, 그 기초적 연구로서 심층수의 자원적 특성 및 개발 계획과 관련한 조사 분석이 진행되고 있다. 특히, 심층수 자원의 특성을 파악하고, 그 안정성을 파악하는 것은 안정적인 품질관리를 위해서 뿐 아니라 취수수심의 결정 등을 위해서도 중요한 절차이다. 이를 위해 해양 심층수의 시범적 개발이 계획되고 있는 강원 북부해역을 대상으로 해양 심층수의 자원적 특성에 대한 조사 및 분석 결과를 체계화하고자 하였다.

2. 해양심층수의 일반적 특성

해양 심층수는 태양광이 도달하지 않는 수심 200 m 이상의 깊

†Corresponding author: hjkim@kriso.re.kr

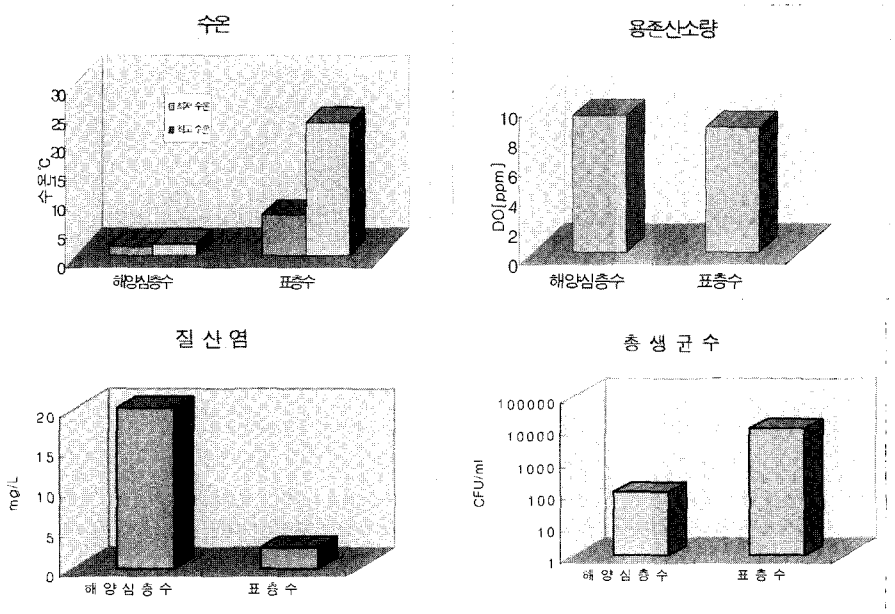

Fig. 1. General properties of DOWES (Deep Ocean Water of East Sea).

은 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, 태양광을 에너지원으로 하는 물질순환계 중에서 생성되어 해수로서 재생 및 순환되는 막대한 청정자원이다(増田 孝義[1999]).

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.

우리나라 동해의 200 m 이하에 존재하는 해양심층수는 이러한 자원적 특성을 보유하고 있는 고품위 해수자원인 것으로 밝혀지고 있으며, 2000년부터 조사 및 분석한 결과를 토대로 정리해 보면 Fig. 1와 같다. 그러나, 고정된 일정수심에서의 이러한 특성은 한류 및 난류의 세력변화나 대기와 해양의 상호작용에 의한 순환 및 혼합 등에 의해 해양물리적 거동에 따라 변동할 수 있으며, 이에 대한 조사, 분석 및 검토가 필요하다.

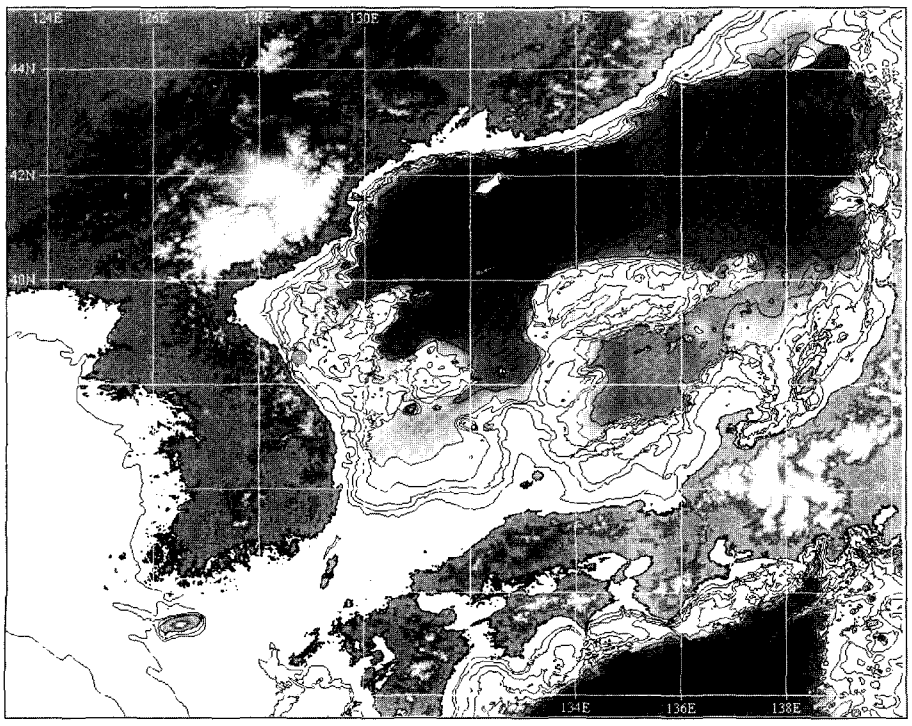

Fig. 2. Objective site (red point).

3. 해역조사 및 분석방법

동해에는 수심 200 m(또는 300 m)에서 해저에 이르는 심해역에 동해고유수가 존재하는 것으로 알려져 있어, 동해 해수의 80% 이상이 심층수 자원인 것으로 평가되고 있다. 동해의 해수 특성에 관한 기존의 자료로는 1661년부터 1995년까지 국립수산진흥원에 의해 수집된 자료와 한국해양연구소에서 1994년부터 1997년까지 수집한 자료가 있으며(KORDI, 1998), 이들 자료는 동해고유수의 일반적 특성을 설명하기에 충분하지만 전술한 국지적 특성과 동해의 장기적인 수온변동과 관련하여 계속적인 상세조사가 이루어지고 있다.

대상해역은 강원도 고성군 죽왕면 지선해역(북위 38°20', 동경 128°34')으로서 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 해저협곡이 외해로 부터 북서측으로 뻗어져 들어와서 급격한 해저경사를 이루며 해안선에서 가까운 위치에 200 m 이상의 심층수 취수가 가능한 곳이다.

해양조사는 매월 1회씩 이루어졌으며, 매 분기마다 종합적인 해양조사와 취수 및 분석을 실시하였다. 현장조사는 ADCP, STD 및 어군탐지기, 채수기 등을 이용하였고, 니스킨 샘플러와 연속 채수장치를 개발하여 다량으로 취수한 후 수질 및 방사능 분석을 실시하였다.

특히, 안정성 평가와 관련한 수온 및 염분의 연직분포는 STD (염분, 수온, 수심 측정장치: Idronaut)로 계측하였고, pH 및 DO sensor를 추가하여 조사가 이루어졌다. 채수기는 20리터용 PVC제 니스킨 채수기를 이용하였다. 채수한 표층수 및 심층수의 수질분석은 해양환경공정시험방법(해양수산부, 1997)에 따라 실시되었다.

4. 동해 심층수 자원의 시간적 안정성

개발대상 해역의 심층수에 대한 수질 안정성을 살펴보기 위해 약 1년에 걸친 수온 및 염분의 수심별 분포특성을 정리하였다. Fig. 3에 그 결과를 도시하여 나타내었다. 그림으로부터, 월별 수온의 연직분포는 겨울을 제외한 대부분의 계절에는 수온약층이 강화되고, 겨울에는 혼합층이 두텁게 형성되는 것을 볼 수 있다. 그러나, 8월의 조사결과에서는 혼합층이 깊게 나타나는 특이한 현상이 보였으며, 그 원인은 아직 단언하기 힘들다. 그러나, 년중 수심별 수온의 변동폭을 살펴보면, Table 1에 나나낸 것과 같이 표층에서는 17.08°C, 수심 50 m에서는 8.54°C, 수심 100 m에서는 2.68°C, 수심 150 m에서는 0.62°C, 수심 200 m에서는 0.43°C, 수심 250 m에서는 0.37°C, 수심 300 m에서는 0,24°C로 나타났다. 한편, 동해의 서쪽에 위치한 일본 토야마현(富山灣深層水利用研究會[2000])에서는 ±1°C의 변동 폭을 가진 수심층이 수심 300 m 임을 감안하면 이러한 변동 폭은 수심 130 m로서 한류의 영향을 강하게 받는 동해 서측에서 보다 안정되어 있음을 알 수 있다. 그러나, 일반적인 해양심층수의 기준이 되고 있는 수심 200 m 이하는 변동 폭이 훨씬 적은 안정된 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

한편, 염분의 경우에 대해서도 계절별 변동특성을 조사 및 분석하여 Fig. 4에 나타내었다. 그림으로부터 동계에는 변동 폭이 적으나 하계에는 변동 폭이 크다는 것을 알 수 있다. 그 변동 폭이 적은 수질의 안정성을 검토하기 위하여 년중 수심별 염분의 연직분포를 분석하여 보았다. 그 결과는 Table 2에 정리해 놓은 것과 같이 표층은 년중 2.46‰로 변동하며, 수심 50 m층에서는 년중 0.63‰로 변동하지만 수심 100 m 만 내려가도 0.22‰로 이 급격히 줄어들며, 수심 150 m층에서는 0.06‰로 감소한 후 수심 200 m 이상에서는 0.04‰로 거의 일정하게 유지됨을 알 수 있다.

따라서, 해양 심층수의 자원성이 보존되고 있는 수심은 해역에 따라 달라지지만 강원북부 해역의 경우에는 동해 동부 및 동남부 해역의 300 m 이상과는 달리 수심 150 m 이상만 되면 안정됨을 알 수 있다. 따라서, 대상해역에서 안정된 해양심층수 자원의 취수수심 결정에 이와 같은 분석 결과를 활용할 수 있을 것이다.

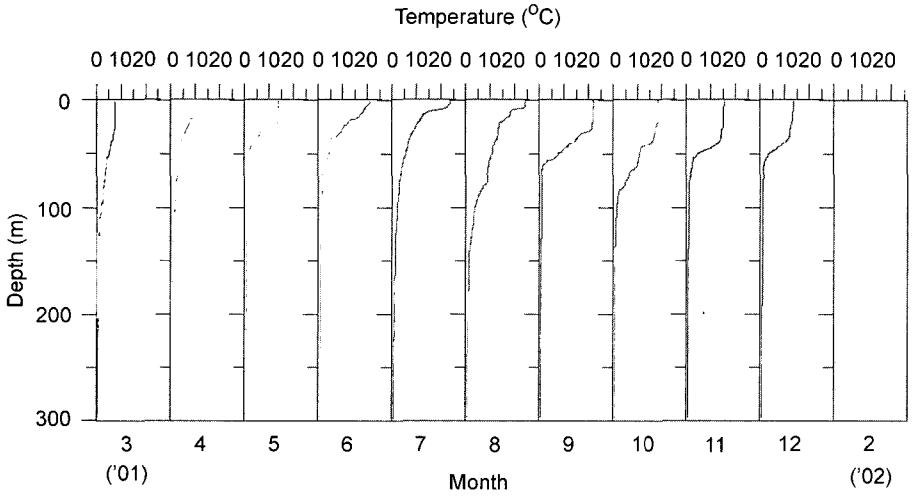

Fig. 3. Monthly profile of vertical distribution of water temperature.

Table 1. Annual maximum variation of water temperature according to water depth.

Water depth (m)	0	50	100	150	200	250	300	Remarks
Variation of temperature (°C)	17.08	8.54	2.68	0.62	0.43	0.37	0.24	

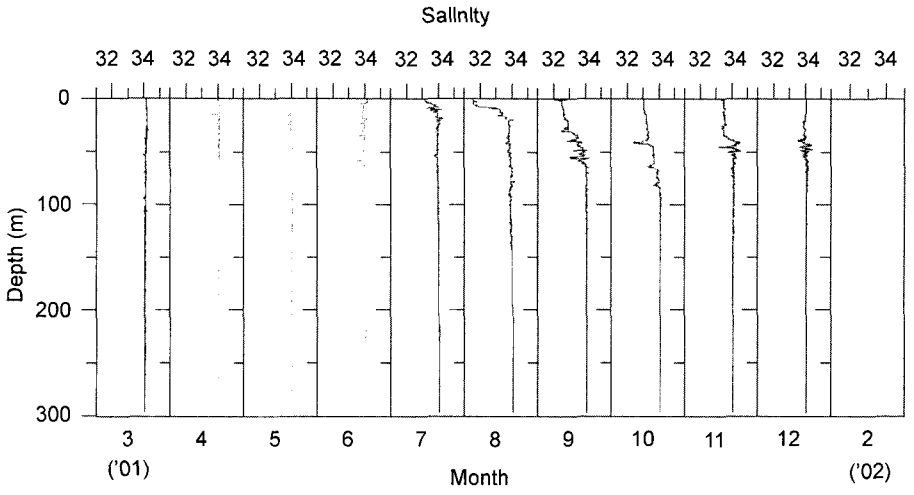

Fig. 4. Monthly profile of vertical distribution of salinity.

Table 2. Annual maximum variation of salinity according to water depth.

Water depth (m)	0	50	100	150	200	250	300	Remarks
Variation of salinity (‰)	2.46	0.63	0.22	0.06	0.04	0.04	0.04	

5. 동해 심층수 자원의 공간적 안정성

전술한 바와 같이 수심 200 m 이상을 해양심층수라고 정의하며, 동해는 면적이 1,007,600 km^2이고, 평균수심이 1,684 m 이므로 수심 200 m 이상의 해양심층수는 약 1,495,278 km^3에 달하는 막대한 자원이 부존하고 있다. 해양심층수의 자원적 품위는 해역에 따라 다르며, 이는 주변 산업환경 뿐 아니라 해류계에 영향을 받게 된다. 특히, 동해는 남측에서 올라오는 쿠로시오 지류인 쓰시만난류와 동한난류가 북상하며, 오야시오 한류의 지류인 동한한류 및 동해중앙한류가 남하하여 전선을 이루고 있고, 그 전선은 계절에 따라 이동하고 있다. 따라서, 수심 200 m 이상해역이 존재하는 동해의 강원해역에서 경북해역까지도 해역에 따라 다른 양상을 보이고 있으며, 국지적으로는 조경수역 및 해저지형에 의한 용승역이 형성되어 보다 복잡하게 변하기도 하는 것으로 알려지고 있다.

동해에 해양심층수가 풍부하게 부존하고 있지만 개발이 가능한 것은 시대적 기술수준과 결부된 경제성에 좌우되게 된다. 즉, 현재 기술수준에서 안정적이고 경제적으로 해양심층수를 개발하여 다목적으로 활용하기 위해서는 수심 200 m 이상의 심층수가 해안으로부터 5 km 이내에 있어야 한다. 이를 만족하는 곳은 우리 나라 연안에 많지 않은 편이다. 그 중에서, 개발 가능성이 높은 강원북부 해역의 수질분포 특성을 조사 및 분석하였으며, 한 예를 Fig. 5에 나타내었다.

분포조사 대상해역은 개발 우선적지로 검토되고 있는 고성군 죽왕면으로부터 문암진, 속초, 양양, 강릉 연곡 및 강동 등이었다. 그림으로부터 이들 해역은 유사한 해양심층수가 분포함을 알 수 있었다. 그러나, 유사한 기간동안에도 안정된 수심층의 상한이 위도가 낮아질수록 낮아짐을 알 수 있다.

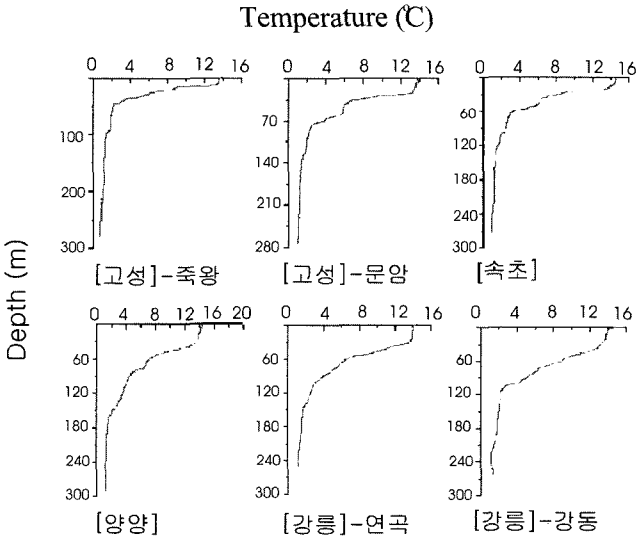

Fig. 5. Variation of water temperature profile at some sites along northeastern coastal sea of Korea.

6. 동해 심층수의 생태환경적 안정성

해양의 환경오염은 주로 인본적인 원인으로 국지적으로 발생하는 것과 장기간에 걸친 원인의 누적으로 대양적인 규모로 발생하는 것으로 구분될 수 있다. 후자의 경우는 예측이 어렵고 제어가 현실적으로 불가능하기 때문에 심층수 개발적지 선정에서 고려하기 어려우나, 전자의 경우는 환경오염 특성의 조사를 통하여 적지 선정시 반영하여야 한다.

이로부터, 해양 심층수의 안전성에 대한 조사 및 분석이 이루어졌다. 주로 중금속, 세균 및 방사능 오염에 대해 이루어졌다. 그

결과, 대상해역은 청정해역이어서 표층수 및 심층수에서 유해 중금속은 발견되지 않았으며, 일반세균 및 대장균에 대해서는 심층수가 표층수에 비해 1/30로서 매우 적거나 없는 청정함을 보유하고 있었다.

또한, 방사성 오염에 대한 안전성도 매년 조사하고 있으며, 그 결과를 요약하면 전베타 방사능 농도는 심층수가 7.4~9.23 Bq/l, 표층수가 6.95~8.25 Bq/l로서 큰 차이가없으며, 감마핵종(Cs-137)은 심층수가 2.017~2.817 mBq/l, 표층수가 1.89-1.97 mB/l 등으로 나타났다. 이들 수치는 방사능 낙진 준위와 유사한 값을 나타내고 있어 문제되지 않을 정도로 판단되었다.

반면, 해양식물 생장에 필수적인 영양염류는 질산염, 인산염 및 규산염 등이며, 표층수와 심층수를 취수하여 분석하였다. 그 결과, 심층수중의 영양염류는 표층수의 그것에 비해 5 내지 50배가 높은 것으로 나타났다.

6. 결 론

해양 심층수 자원의 개발 및 이용을 위하여 자원학적 특성에 기초한 품질기준을 정립하고, 이를 연구개발 및 실용화하기 위한 취수시설의 설계과정으로서 대상해역(강원 북부해역)의 해양심층수 특성에 대한 년간 조사 및 분석이 수행되었다. 그 결과는 시간적, 공간적 및 생태환경적 안정성 측면에서 다음과 같이 요약될 수 있다.

1) 대상해역의 해양심층수는 일반적으로 알려진 해양심층수의 자원적 특성을 양호하게 만족하고 있으며, 저온 에너지 관점에서는 일본 북해도의 심층수 자원과 유사한 200 m 이하에서 년중 2℃ 이하의 안정성을 보유하고 있다.

2) 수온의 연직분포 특성을 살펴보면 계절적 수온약층이 뚜렷하며, 표층수는 약 17℃ 의 범위를 변동하지만 수심 200 m 이상의 심층수는 약 0.4℃ 의 범위 이내에서 변동하고 있음을 알 수 있었다. 또한, ±1℃ 이하의 수온 변동폭을 가진 수심층을 안정된 수심으로 가정한다면 대상해역에서는 수심 130 m 이상이면 만족됨을 알 수 있었다.

3) 염분의 연직분포 특성은 동계에는 변동 폭이 적으나 하계에는 변동 폭이 크다는 것을 알 수 있다. 여기서, 표층은 년중 2.46‰의 범위에서 변동하지만 수심 150 m 이상에서는 0.04~0.06‰로 거의 일정함을 볼 수 있다.

4) 강원 북부해역에서 수온 및 염분의 수심별 분포특성은 유사해 보이지만 안정된 수심층의 상한이 낮아지는 특성을 가지고 있는 것으로 판단된다.

5) 대상해역의 생태환경적 안정성을 살펴보기 위해 표층수 및 심층수(200 m)의 수질 안전성을 조사 및 분석한 결과, 심층수는 중금속, 미생물, 방사능 등에서 안전하였고, 영양염류도 풍부한 것을 확인하였다.

6) 따라서, 해양심층수의 3대 특성을 설명되고 있는 저온성, 청정성 및 부영양성이 대상해역에서는 수심 200 m 이상에서는 안정되게 만족되고 있으므로 해양심층수 자원의 개발 및 관리에 효과적으로 활용할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 해양수산부가 시행하고 있는 "해양심층수의 다목적 개발" 사업 결과의 일부이다.

참고문헌

[1] 김현주 등, 2000, "동해 심층수의 다목적 개발 기획연구", 해양수산부.
[2] 김현주 등, 2001, 2002, "해양 심층수의 다목적 개발(1,2)", 해양수산부.
[3] 김현주, 1997, "해양공간이용 기술을 이용한 어항종합개발", 어항 '97 여름호, 33~43.
[4] 송무석, 2003, "청정생산과 해양에의 적용성에 관한 연구", 한국해양환경공학회지, 6권3호.
[5] 어재선, 안희도, 남기두, 2002, "일본에서의 해양심층수의 다목적 개발과 현황", 한국해양환경공학회 춘계학술대회논문집.
[6] 홍석원, 김현주, 강윤구, 1998, "해양에너지이용공학", 신기술.
[7] 豊田孝義, 1999, "日本における海洋深層水利用技術の現狀と展望", 國際海洋溫度差發電/深層水利用研究會シンポジウム '99, 1~7.
[8] 富山灣深層水利用研究會, 2000, "21世紀の資源, 富山灣深層水".
[9] KORDI, 1998, 해양환경도.

2003년 11월 28일 원고접수
2004년 2월 4일 수정본 채택