

해양 심층수의 다목적 개발 및 다단계 이용

김 현 주 / 한국해양연구원

1. 서 론

최근 21세기 인류에게 닥칠 식량, 환경, 에너지 문제에 종합적으로 대응할 수 있는 재생산형 해양자원으로서 '해양심층수'가 주목받고 있다. 우리나라 동해도 이러한 유용자원이 부존되어 있는 것으로 판단되어 개발이 기대되고 있다. 해양 심층수 자원의 효율적 개발 및 이용을 위해서는 자원적 특성을 명확히 하고, 이를 자원으로서 활용하기 위한 실용화 방향 및 방안을 신중하게 정립하여야 한다. 특히, 해양 심층수는 다양한 자원적 특성을 가지기 때문에 단일 목적으로 사용하고 방출해버리기는 아까운 자원이며, 투자 효율성의 제고를 위해서도 단계적으로 이용한 후 방류하고 가능하다면 방류후에도 이용하는 다목적 개발이 중요한 해양 공학적 연구과제가 되고 있다.

이로부터 본 고에서는 해양 심층수 자원의 기초조사를 통해 그 자원적 특성을 조사 및 분석하고, 다양한 목적으로 이용함으로써 새로운 청정 해양수산업을 실현하기 위한 다단계 이용에 대해 정리해보고자 한다.

2. 동해 심층수의 자원적 특성

해양 심층수는 200m 이상의 심층에 존재하여 년중 안정된 저온을 유지하고 있으며, 유기물이 거의 없어 청정하며 무기 영양염이 풍부한 해수자원으로 알려져 있다. <그림-1>에서 볼 수 있듯이 우리나라 주변에서 수심 200m 이상의 해역은 동해에 국한되고 있다. 동해는 지형적으로 수심이 깊어서 비교적 해안에서 근거리에서 심층수가 존재하는 유리한 조건을 가지고 있으며, 해안으로부터 3km 내외에서 심층수의 획득이 가능한 곳도 다수이다. 특히, 강원도 북부 해역과 울릉도 주변 해역 등에 해안선으로부터 멀지 않은 곳에 수심 200m 이상의 깊은 바다가 존재함을 알 수 있다. 따라서, 이러한 해역이 개발 가능성이 큰 유망한 해역임을 알 수 있다.

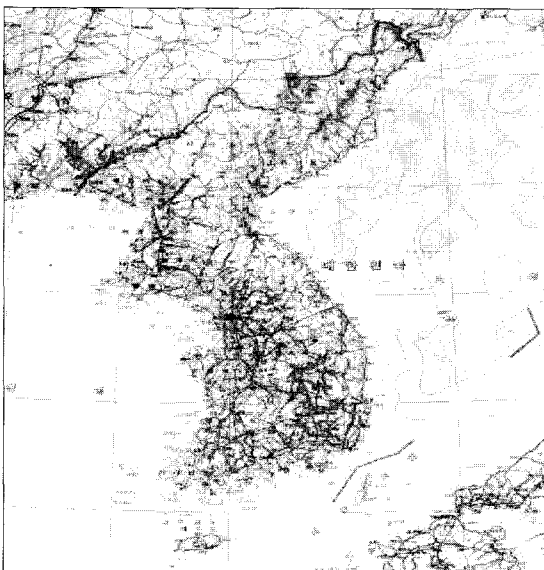
해양연구원은 동해 심층수의 특성에 관한 정밀조사 및 환경평가 연구를 2000년부터 계속적으로 수행하고 있으며, 2000년에는 시범개발 대상적지(강원도 고성군)에 대한 하계 및 동계 해양조사를 실시하였다. 현장조사는 ADCP, CTD 및 어군탐지기, 채수기 등을 이

용하였고, 니스킨 샘플러와 연속 채수장치를 개발하여 다량으로 취수한 후 수질 및 방사능 분석을 실시하였다. <그림-2>는 시범단지 개발적지에서 하계에 실시한 해양조사 결과로서 수심 300m 지점에서의 수온과 염분의 연직분포를 보

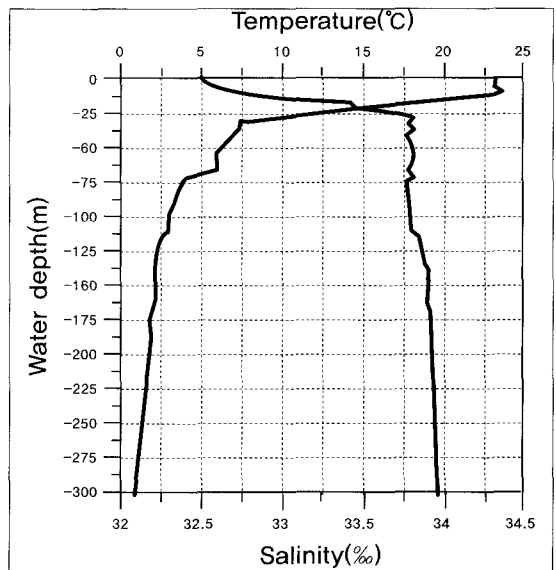
여주고 있다. 그림으로부터 하계의 표층수온은 23℃이지만 50m에서 7.5℃, 100m에서 3℃, 200m에서 2℃ 등으로 수온이 급격히 떨어지면서 안정되어 감을 볼 수 있고, 염분도 표층에서 25m까지는 32.50%에서 33.80%로 증가

한 후 340%로 거의 일정함을 알 수 있다.

해양조사 결과를 외국의 사례와 종합적으로 비교하여 <표-1>에 나타내었다. 표로부터, 동해의 심층수는 태평양 측에 비해 얕은 수심에서 저온의 심층수가 존재하고 있으며,



<그림-1> 우리나라 주변해역의 해저지형도



<그림-2> 수온 및 염분 분포(2000년 여름)

<표-1> 동해 심층수의 특성 및 외국사례와의 비교

구 분	일본 고찌현 (심층수/표층수)	미국 하와이 (심층수/표층수)	한국 동해안 적지 (심층수/표층수)
수 온	8.1~9.8/16.1~24.9℃	8.2~10.7/24.3~28.0℃	1.52~1.9/14.5~23.10℃
수소이온농도	7.8~7.9/8.1~8.3	7.45~7.64/8.05~8.35	7.19~7.90/8.16~8.20
염 분	34.3~34.4/33.7~34.8‰	34.37~34.29/34.33~35.05‰	33.72~33.94/32.5~33.0‰
용존산소	4.1~4.8/6.4~9.5mg/l	1.24~1.45/6.87~7.28mg/l	9.13~9.47/7.79~8.9mg/l
질산염	12.1~26.0/0.0~5.4μM	39.03~40.86/0.24~0.42μM	3.6~13.3/0.1~1.4μM
인산염	1.1~2.0/0.0~0.5μM	2.89~3.15/0.15~0.19μM	1.7~4.3/ND~0.7μM
규산염	33.9~56.8/1.6~10.1μM	74.56~79.20/2.64~3.59μM	72.1~108.0/15.3~28.9μM
클로필 a			0.034~0.0376/0.1578~0.1589mg/l
비 고	취수수심 320m	취수수심 600m	취수수심 200m

청정성과 부영양성도 뛰어난 것을 알 수 있다. 또한, 미네랄의 조성도 양호하며, 세균이나 대장균도 거의 없는 청정한 해수자원이었다. 따라서, 동해 심층수는 저온성, 청정성, 부영양성 등이 뛰어난 해수자원임을 알 수 있다.

3. 해양 심층수 자원의 다목적 개발

동해 심층수는 전술한 바와 같이 저온성 청정성 부영양성 안정성 등의 자원적 특성을 가지며, 이들 특성을 산업적으로 어떻게 활용할 것인가? 하는 것이 해양 심층수 자원의 개발

에 대한 채산성을 향상시키고 개발 당위성을 만족시키는 방안이 될 것이다. 저온성은 냉방 냉장 냉동 및 제빙 등에 사용할 수 있을 뿐 아니라 한수성 어패류의 친어 육성, 종묘 생산 등에 사용할 수 있으며 하계 고수온기에 문제시되고 있는 수산양식의 월하대책으로서 활용 가능하다. 청정성은 청정수를 이용한 고부가 청정양식에 활용할 수 있을 것이며, 담수 제조시에도 청정성에 의한 비용 절감 효과가 나타날 수 있다. 부영양성은 사료로서 플랑크톤의 배양이나 해조류의 양식에 활용 가능하다. 안정성 및 숙성성은 용존 유용물질의 추출이나 식품 개발 등에

가능성을 살릴 수 있도록 적용할 것이다.

한편, 일본에서는 해양 심층수 원수나 1차 가공수가 식품분야를 필두로 하여 다양한 분야에 활용되고 있으며, 미국에서도 해양 심층수를 이용한 수산양식, 에너지이용 뿐 아니라 미세조류의 배양 및 건강식품 등에 적용되고 있다. 따라서, 활용분야 및 방법은 무궁무진하며, 우리나라의 자연 및 산업환경과 전통을 살려 이용할 수 있는 방안을 탐색하고 특성화해 나가는 것이 필요하다. 이를 고려하여 해양 심층수를 적용할 만한 산업분야별 현황을 정리하고, 활용방안을 정리하여 <표-2>에 나타내었다.

<표-2> 해양심층수 적용가능 분야의 현황 및 산업활용 방안

구분	현황	적용(활용) 방안	
수산분야	증식	자원급감, 해양오염 위협	한해성 자원조성/관리 (도루묵, 대구, 털게 등)
	양식	안정적 공급 지장, 식량오염	한해성 수산양식/축양 (연어, 노랑가자미, 김 등)
산업분야	에너지	수입의존, 신재생에너지 탐색	냉각, 냉방, 냉장, 제빙
	물	물부족, 오염심각, 담수화기술	생수, 기능성 음료수
	소금	오염심각, 공업용(180만톤 수입)	청정소금, 기능성 소금
	식품	원재료 오염, 건강안전 위협	김치류, 장류, 주류, 두부, 염장류, 과자류
	약품	난치병 증가 및 신약개발 필요	당뇨약, 투석액, 신약
	의료	신경성, 알레르기성 질병 다발	피부염치료, 해양요법
	미용	공해 심각, 민감성 피부 증대	화장품, 보습제, 입욕제
	자원	수입의존, 자원무기화 위협	회소금속, 에너지원
기타분야	농업	농약의 과다사용, 농산물 오염	냉온성 식물 수경재배, 토양내 응결 급수 등
	관광	수요증대, 기반취약	해양심층수 개발 및 이용기반의 관광화
	휴양		생태형 청정촌 조성
	스포츠		해양공간의 스포츠 활용
교육	전시체험형 해양교육		

4. 해양 심층수 자원의 다단계 이용

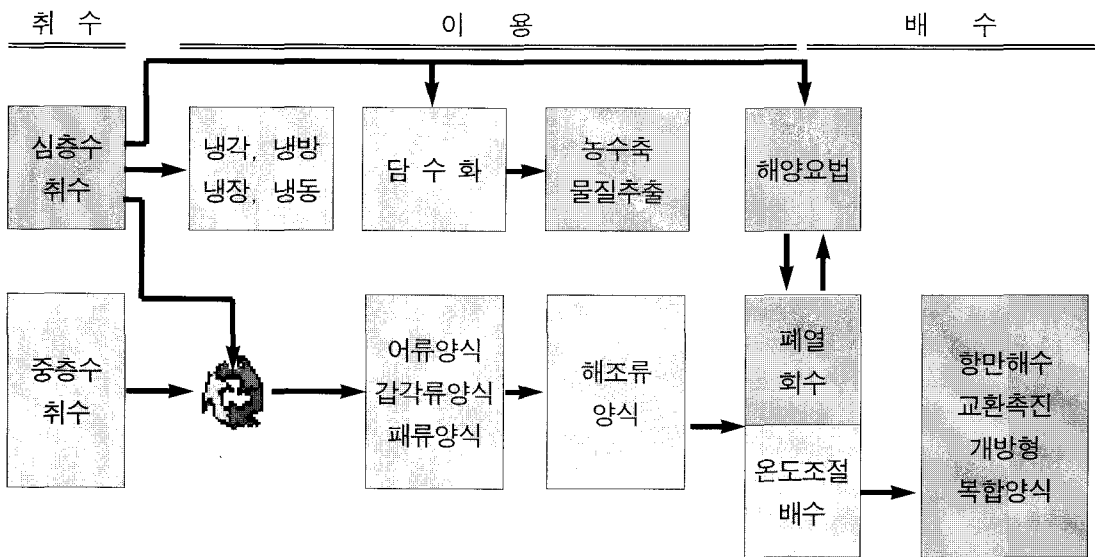
해양 심층수를 육상에서 이용하기 위해서는 많은 취수비용이 소요된다. 따라서 전술한 다양한 활용방안의 한 분야에서만 사용하고 방류해 버리기는 아까운 자원이다. 해양 심층수의 저온성 청정성 및 부영양성 등을 단계적으로 활용하는 방안이 필요하다. 즉, 육상으로 취수한 후, 4~5℃의 심층수로부터 5~10℃의 저온에너지를 이용하여 냉방 냉장 제빙 등에 사용하여도 청정성, 부영양성 등은 변질되지 않으므로 청정성을 활용하여 수처리시스템의 간단화에 의한 저

비용 담수화와 해양동물의 청정양식을 실현할 수 있다. 청정양식 후에도 부영양성은 남아 있으므로 해양식물의 배양에 사용할 수 있고, 해양방류시에도 잔여 영양염을 이용하는 등의 단계적 활용이 가능하다. 이러한 다단계 이용개념을 모식적으로 나타낸 것이 <그림-3>이다.

이러한 측면에서 해양 심층수의 다목적 이용시스템은 취수원의 수량 및 사용하는 흐름에 따라 단단계 및 다단계 이용으로 구별할 수 있을 것이고, 다단계 이용도 단순히 일방향으로 진행되는 단순형과 상호 연계 및 분기되는 복합이용형으로 구분될 수 있을

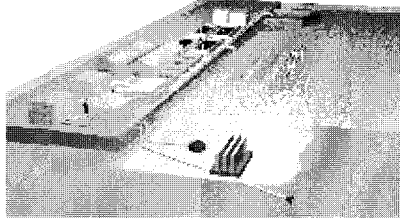
것이다. 즉, (1) 단단계 이용시스템 모델, (2) 단순이용 다단계 이용시스템 모델, (3) 복합이용 다단계 이용시스템 모델로 분류하여 체계화할 수 있다. 연구개발 초기에는 단순한 모델을 대상으로 하여야겠지만 최종적으로는 효율성 높은 복합이용 다목적 이용시스템이 대상으로 되어야 한다. 한 예로서 육상에서의 단계적 이용시스템의 예를 들어보면 <그림-4>와 같다. 이는 해양 심층수 자원을 시범단지 개발대상 지역산업 및 환경을 고려하여 구성한 것이다.

한편, 육상에서 이용하고 배수하는 해양 심층수에는 잔여

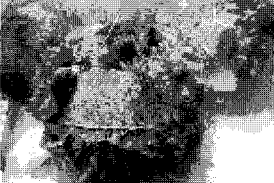


<그림-3> 해양 심층수의 복합이용 다단계 이용시스템 모델

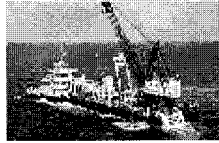
통합시스템 설계 및 기반구축



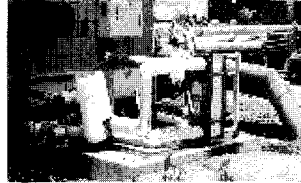
해조장 및 개방형 복합양식



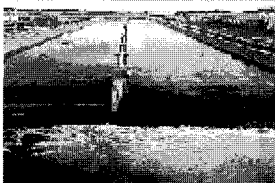
파이프라인 시설



난방 및 연장에너지이용



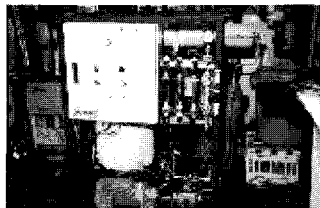
유수식 체험학습장



모니터링 및 관리



청정양식



담수화 및 유용물질 추출

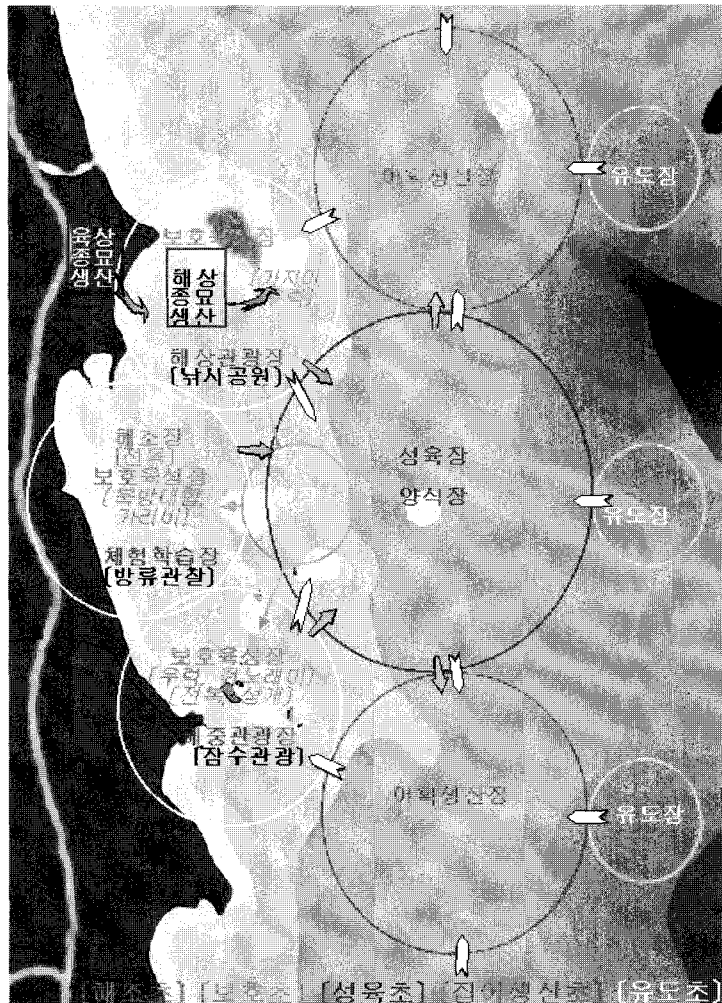
〈그림-4〉 육상에서의 다단계 이용시스템의 모식도

영양염이 남아 있으며, 이를 위치에너지를 활용하여 해역에 방류함으로써 기초생산의 향상과 해수교환(혼합)을 촉진시킬 수 있다. 이를 이용하여 배수 대상 주변해역의 환경개선이나 개방형 증 양식시스템을 조성할 수 있을 것이다. 후자의 경우, 육상과 해상에서

생산 및 중간육성된 종묘를 해조장 및 보호육성장에 방류하고, 어장환경을 조성 및 관리함으로써 한해성 바다목장을 실현할 수 있도록 하자는 개념이다. 이를 위해 해양연구원과 강원도립대는 〈그림-5〉와 같은 해역개발 구상을 정리하고 있다.

5. 결론

해양 심층수는 식량, 물과 에너지의 부족, 환경 문제 등으로 시달리게 될 21세기 인류를 위한 구원적 해수자원으로 가치 매우 높은 해양자원이다. 해양 심층수는 저온성을 활용한 냉방 냉장 냉동 청



〈그림-5〉 해양 심층수를 재활용한 개방형 증양식시스템 개념도

정성을 이용한 활어 수산물의 전략적 유통기반 조성 및 기능성 식수 및 식품제조, 부영양성과 위치에너지를 활용한 어항 및 연안 환경개선과 연안 생산성 향상 등을 통하여 어촌의 환경개선과 소득증대를 통한 활성화에 효율적으로 기여할 수 있을 것이다.

이를 효율적으로 활용하기 위한 개발 및 이용방향의 정립을 위하여 해양 심층수의 자원적 특성을 정리하고, 이를 효율적으로 이용하기 위한 활용방안을 산업분야별로 정리하여 다목적 개발 방안을 논의하였다. 또한, 해양 심층수 자원을 효율적으로 활용하기 위한 다

단계 이용 시스템을 정립하고, 해양 방류시 잔여 영양염을 재활용한 개방형 증양식시스템을 제시하였다. 이러한 연구개발을 통해 해양 심층수 자원이 실용화되면 순환재생형 해양자원을 활용한 해양 신산업의 창출과 지역 활성화에 효과적으로 이용될 수 있을 것이다. ㉔