

## 기획특집 ③

## 해양 심층수의 이용 전망

강원도립대학 김 병 기

## 1. 개 요

**최** 근 우리 나라는 도시하수 및 공장폐수에 의해 연안해역은 계속 부영양화 되어가고 있으며, 유류 오염 사고에 의해서 연안어장은 점점 황폐화되어 가고 있어 연근해를 살리기 위한 획기적인 노력이 없이는 연근해 생산력은 계속해서 감소할 것으로 보여진다. 그리고 원양어업도 200해리 EZZ의 선포에 따라 그 존립마저 흔들리고 있다. 더구나 인구 증가와 소득 증대에 따라 수산물 수요는 계속 증가할 것으로 보여진다. 즉, 2005년 우리나라의 총인구는 약 5천만명으로 예상되며, 고도 산업사회 진입에 따라 식품 구조 변화로 2005년도의 수산물 수요는 500만톤 수준으로 증가할 것으로 예상되고 있어 100만톤 이상의 국내 생산 수산물이 부족 현상을 보일 것으로 판단된다.

또한 21세기에는 지하수의 고갈과 오염이 빠르게 진행되고 담수도 크게 부족할 것으로 판단되어 이의 확보 여부가 큰 관건으로 대두되고 있다. 나아가 해양으로부터 중수소 등의 청정 에너지, 희귀 금속, 신약품 등의 생산이 가능해져 미래의 잠재적인 에너지 보고로 그 가치가 인정되고 있다.

해양의 심층수는 태양광이 도달하지 않기 때문에 식물플랑크톤 등은 대단히 적지만 표층의 해수에 비해서 식물의 성장에 필요한 무기영양염류를 많이 포함하고 있으며, 수질악화의 원인으로 되는

유기물질이나 수산생물에게 질병을 일으키는 병원균 등은 표층의 해수에 비해서 대단히 적어 매우 깨끗한 해수이다. 또한 생물사육에 영향을 미치고 있는 수온은 표층보다 매우 낮고, 주년에 걸쳐서 거의 변화가 없는 것이 특징이다. 그러므로 이러한 해양의 심층수는 해양생물의 성장이나 증식에 매우 유용하게 활용할 수 있다. 앞으로 해양의 심층수는 저온 안정성, 부영양성, 청정성 때문에 수산분야나 수산이외의 분야에서 이용이 급격히 증가할 것으로 판단된다.

그러나 심층수를 산업적으로 활용하기 위해서는 연안과 가까운 지역에 심층수 또는 이들의 용승 지역이 발달하여야 그 가치가 인정된다. 다행스럽게도 강원도는 우리나라에서는 유일하게 연안 인접 해역에 심층수 용승 지역이 있어 앞으로 독창적으로 개발할 수 있는 잠재력이 매우 큰 지역이다. 이를 잘 활용하면 새로운 양식 품종의 개발과 연중 양식으로 어민의 소득증대에 크게 기여할 것으로 보여지며, 담수화, 냉방, 식품저장, 기능성 식품제조 및 새로운 신약품 개발 등 새로운 분야의 개척도 가능하다.

## 2. 해양 심층수의 특징

표 1과 같이 심층수는 다양한 특성을 가지고 있어 산업적으로 잘 활용할 경우 개발 잠재력이 매우 크다.

표 1. 해양 심층수의 일반적인 특징

구 분	특 성
저온안정성	수온은 표층보다 상당히 낮고(약 1.4 ℃), 연중 변하지 않는다.
부영양성	표층의 해수에 비하여 식물의 생장에 필요한 질소, 인, 규산 등의 무기영양염을 많이 함유하고 있어 기초생산자인 해조류와 식물성플랑크톤의 생산력이 매우 높다.
청정성	육지에서 흘러오는 물의 대장균과 일반세균에 오염되어 있지 않다. 또 해양성 세균수도 표층의 해수에 비해 매우 적고, 육지의 물과 대기로부터의 화학물질에 노출될 기회가 적어 매우 청정하다고 할 수 있다. 또, 현탁물과 부착생물이 적은점(생물적 청정성)도 중요한 특성이다.
숙성성	해양심층수는 수압 30기압 이하에서 오랜 세월동안 숙성된 해수이다.
미네랄특성	해수에는 필수 미량원소와 다양한 미네랄이 균형 있게 포함되어 있고, 해양심층수 특유의 녹아있는 상태로 있는 원소도 많아 기능성 음료로 개발할 수 있는 잠재력이 크다.

심층수의 수질조건은 지역에 따라 다소 큰 차이를 보이지만 표 2와 3에서와 같이 해조류 및 식물성플랑크톤의 성장에 큰 영향을 주는 영양염류인 질소, 인, 규산염 등이 매우 풍부한 것으로 나타나 있다.

### 3. 심층수의 이용 가능성

표 4와 같이 原水, 농축해수로 나누어 다양하게 산업적으로 이용이 가능하다.

#### 가. 수산분야 이용

- 수온억제가 용이하므로 여름철 고수온기에서도 생물로의 영향을 최소한으로 억제하는 것이 가능하고, 저온을 필요로 하는 냉수성(연어·송어류, 철갑상어, 김, 다시마, 전복, Halibut, 대구, 영덕대게 등)이나 심해성의 생물의 사육에 적합하다.
- 식물성플랑크톤이나 해조류를 배양할 경우, 영양염이 풍부하여 양호한 환경을 제공함으로 성장을 촉진(약 2~3배) 시키고, 기능성 해조류를 연중 생

표 2. 일본 고치현의 심층수 성분 비교

항 목	단위	심층수 (320m)	표층해수 (0m)	비 교 결 과
수 온	℃	8.1~9.8	16.1~24.9	심층수의 저온 안정성
수소이온농도(ph)	-	7.8~7.9	8.1~8.3	심층수가 중성에 더 가까움
염 분(sal)	‰	34.3~34.4	33.7~34.8	염분은 별차이가 없음
용존산소(Do)	ppm	4.1~4.8	6.4~9.5	표층일수록 물 속에 녹아있는 산소량이 많음
질산염(NO <sub>3</sub> -N)	μm	12.1~26.0	0.0~5.4	심층수가 2~5배 많음
인산염(PO <sub>4</sub> -P)	μm	1.1~2.0	0.0~0.5	심층수가 2~4배 많음
규산염(SiO <sub>2</sub> -Si)	μm	33.9~56.8	1.6~10.1	심층수가 6~35배 많음
클로로필a(Chl-a)	mg/m <sup>2</sup>	혼적	4.2~50.6	표층일수록 식물성 플랑크톤 많음
생 균 수	CUP/ml	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> ~10 <sup>4</sup>	살아있는 균수는 표층수가 월등히 많음

※ 자 료 : 일본 고치현해양심층수연구소(1999년)

표 3. 하와이의 Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority (NELHA)의 수질 비교

수 질 요소	단위	Warm seawater			Cold seawater			온수에 대한 비율
		Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	
수온	℃	28.00	24.30	-	10.70	8.20	-	-
염분도	‰	35.05	34.33	34.71	34.37	34.21	34.29	-
pH	-	8.35	8.05	8.24	7.64	7.45	7.55	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	μg-at/ℓ	0.10	0.05	0.17	41.70	36.80	39.62	1:23
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	"	0.76	0.20	0.47	0.76	0.06	0.34	-
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	"	0.34	0.03	0.15	3.17	2.69	3.00	1:20
실리콘	"	11.52	1.80	3.46	74.96	89.13	77.58	1:22
총 용존질소	"	7.84	2.51	4.12	47.00	37.32	42.16	1:10
총 용존인산염	"	0.66	0.19	0.35	3.29	2.72	3.03	1:9
Total organic Carbon	mg C/ℓ	1.20	0.51	0.91	0.99	0.07	0.58	-

표 4. 심층수의 산업적 이용 예

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 식품분야(각종음료)</li> <li>○ 의료, 건강, 미용분야(생리 활성수, 화장품)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 식품분야 (각종음료, 발효식품 등)</li> <li>○ 의료, 건강, 미용분야 (제약, 화장품)</li> <li>○ 농업분야 (양액재배, 토양개량)</li> </ul>
原 水	담수 및 농축 해수	농 축 해 수
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수산분야(양식, 축산)</li> <li>○ 의료, 건강, 미용부분 (해양 요법, 아토피성피부염치료)</li> <li>○ 농업분야(시설재배, 온도제어, 양액재배)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 식품분야: 발효식품, 말린 것, 천일염, 기능염</li> <li>○ 의료, 건강, 미용분야(해양치료법, 화장품)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 식품분야 (가정용식염, 발효식품, 말린 것, 김치, 과자)</li> <li>○ 의료, 건강, 미용분야 (해양요법, 화장품)</li> </ul>

산할 수 있어 상품의 부가가치를 제고시키고 생산성을 향상시킬 수 있다.

- 해수중의 병원생물 등이 매우 적기 때문에 병원균에 의한 양식생물 질병의 피해가 없고, 생물관리, 수질관리가 용이하여 고소득을 기대할 수 있다.

- 심층수는 4℃ 이하로 일정하게 유지됨으로 이 물을 표층수와 잘 혼합할 경우 한류성 어류의 월하

가 가능하다.

- 특히 이 물은 다용도로 활용이 가능하여 해조류, 전복, 연어류 양식 등에 다단계 활용이 가능하고, 나아가 이 물을 바다에 그대로 방류할 경우 식물성 플랑크톤과 동물성 플랑크톤이 대 번식하여 연안 어장의 풍도가 크게 개선됨으로서 회유 어종이 다양해질 수 있는 매력적인 사업이다.

나. 수산 외 분야 이용

- 온대해역에서 곤란하지만, 표층수온이 높은 열대해역에서는 심층수와 온도차를 이용해서 발전이나 담수의 제조가 가능하다. 또 육상에 올려진 심층수는 실내의 냉방이나 식품의 저장에 이용할 수 있다.

- 심층수에 포함되어 있는 각종 유용물질을 추출로 희소금속이나 유용 미네랄, 음료, 의약품 등의 생산에 활용할 수 있다.

- 심층수는 유기물이나 미생물을 거의 포함하지 않기 때문에 해역의 정화나 연안생태계 보전 더 나아가서 가공식품의 재료에 사용(김치생산 등)할 수 있다.

- 중수소 회수기술을 개발하여 천연 에너지로 개발이 가능하다.

이 되어 최근 후쿠이에서는 심층수를 산업적으로 이용하기 위하여 약 1,000억엔의 집중 투자를 준비 중에 있다.

① 기반기술 분야

- 심층수 수질에 관한 연구
- 취수기술에 관한 연구
- 심층수 제어기술에 관한 연구
- 운송기술에 관한 연구

② 응용기술 분야

- 심층수를 활용한 재배어업의 기술향상에 관한 연구
- 심층수를 활용한 재배어업의 대형해조류 및 식물성플랑크톤 배양기술
- 신식품종 어류의 부가가치 향상기술에 관한 연구

2) 미국

미국은 1974년부터 하와이의 지역적 특수성인 천혜의 조건을 활용 Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority (NELHA)에서 Ocean Thermal Energy Conservation Plant (OTEC)를 건설하여 심층수 활용사업을 적극 추진하고 있다. 정부와 민간기업이 공동으로 학문적 기반기술 개발과 산업화를 목적으로 기초연구를 바탕으로 응용기술 개발에 주력하고 있다. 앞서서도 언급한 바와 같이 화산섬의 특징을 최대한 활용하여 우선 급경사의 해저 600m에 pipeline을 연결 영양염이 풍부하고 수온이 낮은 심층수와 열대 고수온의 표층수를 활용 다양한 조건을 구성하여 여러 가지 종류의 대상 양식생물에 관한 연구사업을 중점적으로 추진 중에 있다. 즉, 영양염이 풍부하고 수온이 낮은 심층수를 이용하여 전력생산 등 수온조건을 활용(수온이 낮은 심층수 6℃와 열대해역의 표층수 25℃)하여 여러 가지 기술을 개발하고 있고, 양식 기술 개발사업에도 박차를 가하고 있다. 특히

4. 국내의 연구 또는 기술개발 동향 및 우리 수준

가. 국외

1) 일본

일본은 1985년부터 적극적인 자원배양형 환경 조성사업의 일환으로 심층수 개발을 위한 연구를 시작, 과학기술청의 Aquamarine 계획 중 “해양 심층 자원의 유효이용 기술에 관한 연구”를 본격적으로 시도하게 되었다.

본 사업은 지역적 특성을 충분히 고려하여 高知縣 室戸市와 富山縣 富山灣 지역을 대상으로 두 지역이 모두 심층수를 이용한 수산생물의 증양식 분야 및 수산 외 이용에 활용할 응용기술을 개발하고 있고, 특히 高知縣에서는 음료수, 미네랄 water, 아토피 치료액, 청량음료, 과자, 면, 농축해수, 소금, 김치 등 200여가지 제품을 개발하고 있다.

나아가 과학기술청의 해양과학기술센터가 중심

Hawaiian Energy란 상품을 개발하여 상업화한 바 있으며, 심층수를 활용하여 *Spirulina pacifica*를 40만 pound/yr를 생산하여 연간 20만 \$의 순이익을 기록하고 있다. 사업 내용은 다음과 같다.

- 기본사업
  - Air Conditioning
  - 온도차 발전
  - Ethanol Production
  - Freon Recycling
  - Freshwater Production (담수화 기술 개발)
  - Aquaculture (냉수양식, 온수양식, 종묘생산, 해조류 대량양식)
  - 농작물 생산

#### 나. 국내

우리 나라는 동해안의 심층수가 연안을 따라 유통하는 지역이 분포하고 있으나 불행하게도 심층수 활용에 관한 연구가 전무한 상태이나, 최근 강원도와 해양수산부 등에서 기초조사를 실시하고 있는 중이다.

### 5. 기술 개발 과제

- 심층수 취수 펌프의 설계 및 시공방법 개발 (생물 생산을 목적으로 하는 취수관 및 내구성과 경제성을 감안한 재질개발)
- 사육수로 활용할 심층수 이용기술 개발 (수질관리 기법 및 수온 제어 기술 개발)
- 심층수 이용 양식 기술 개발 (양식 대상종의 확대 및 신어종 양식 기술 개발)
- 광합성 조류 생산을 위한 기술 개발 (심층수 처리 기술 및 유량 제어 기술)
- 천연어장의 생산성 향상 기술 개발 (심층수를 연안의 빈영양 상태의 어장에 방류

- 하여 어장의 생산성 향상 기술 개발)
- 수산 외 이용 연구 (담수화, 희귀금속, 유용 미네랄, 의약품, 식품 등의 생산 기법 개발)

### 6. 기술 전개 방향

- 대상 해역의 조사, 선정 (해저, 해안지형 및 기상조건과 심층수 성분조사 등)
- 육상 활용 기지 건설 (실증실험을 위한 Palnt 설계)
- 실증실험 (취수를 위한 최적기술 확립, 생물생산에 적용 기술 확립)
- 심층수 방류에 따른 영향 검토 (환경영향 평가 및 재활용 방안 검토)
- 심층수 이용 system의 종합적 평가
- 심층수의 복합 이용기술 검토
  - 초기단계는 심층수의 환경특성, 적지 등을 파악 · 선정하고, 국제공동연구를 통하여 심층수 이용 기술을 습득하며,
  - 중기단계에서는 초기단계의 연구결과를 통해 선정된 해역과 생물을 대상으로 하여 연구사업의 효과를 극대화시킬 수 있도록 연구소, 학계, 지방 자치단체가 중심이 되어 구체적인 연구 활용방안과 응용 기술개발에 주력한다.
  - 최종단계에서는 이제까지 개발된 시스템을 국가 또는 지방자치단체가 참여하고, 이들과 공동사업을 추진한다. 국가는 심층수의 개발 및 취수 비용을 부담하고, 지방자치단체는 심층수 이용 단지를 개발하여 활용할 수 있도록 한다. 나아가 희망지역단체에 기술을 이전하여 어민들이 직접적인 혜택을 받을 수 있도록 유도한다.

## 7. 기대효과

### 가. 기술적 측면

- 자원조성 기술 향상
- 해수 취수를 위한 구조물 설계 및 매설기술 향상
- 냉수의 이용기법과 수처리 기술 향상
- 물 이용의 각종 시스템 기술 향상

### 나. 경제·산업적 측면

- 어민의 소득 증대
- 관련 산업(양식업, 연안수산업, 소재산업, 사료생산업, 식품가공업, 기계, 전자산업)육성
- 시장 개방에 따른 국내 수산물의 국제 경쟁력 향상
- 담수자원의 확보에 의한 농업 진흥
- 지역경제의 발달

### 다. 사회·문화적 측면

- 해양에 대한 국민정서 함양

### 〈참고자료 사진〉

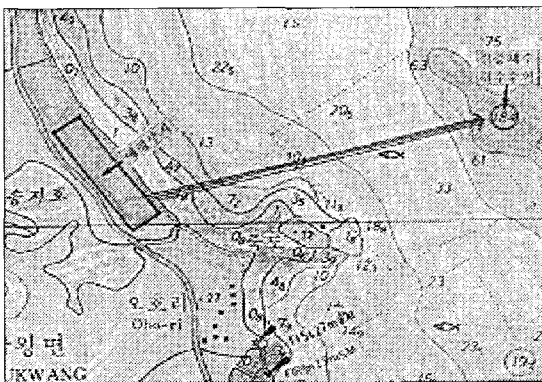


그림 1. 속초시 인근 심층수 이용 가능지역



그림 2. 하와이 NELHA 자연에너지 연구소

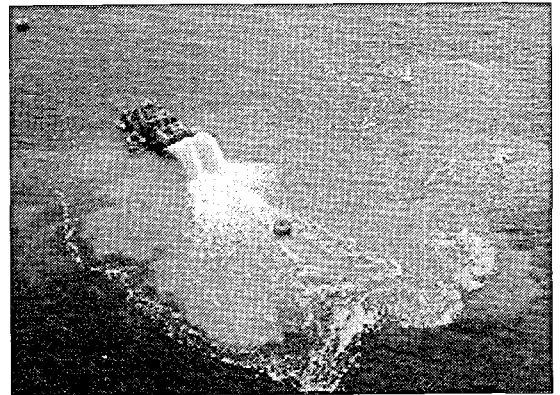


그림 3. 심층수를 이용한 1차 생산력 향상 기법



그림 4. 일본 高知縣의 심층수 취수 모식도

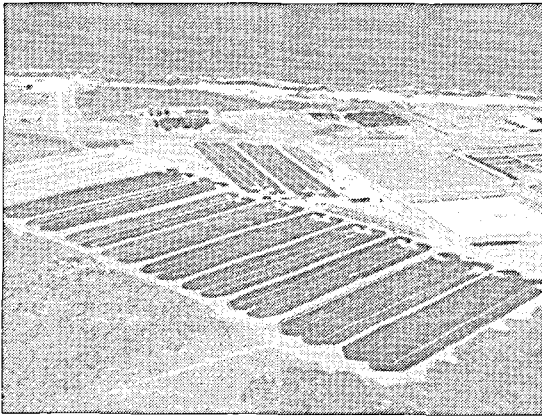


그림 5. 심층수를 활용한 *Spirulina pacifica*의 대량 배양

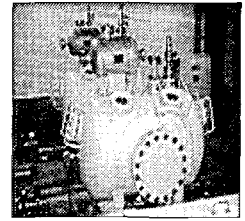
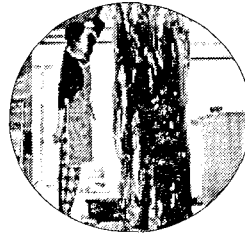


그림 7. 심층수를 이용한 해조류의 양식

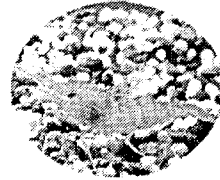


그림 8. 심층수로 사육중인 생물



그림 6. 심층수를 이용한 연구 시설



그림 9. 심층수로 개발한 상품