

# 해양심층수의 개발과 활용

## Development and Application for Ocean's Deep Water



글 / 秦秀雄

(Jin, Soo Ung)

지하자원개발기술사,

(주)한자엔지니어링 기술사사무소 대표이사.

E-mail: hanja@hanjaco.co.kr

### 1. 서언

지구표면의 3분의 2이상을 차지하고 있는 바다는 지구상 모든 생태계의 고향이자 삶의 터전이다.

지구에 존재하는 물의 97.3%가 바닷물인데 이 중에는 각종 원소와 광물이 녹아 있어 자원 보고인 동시에 미래에 인류가 필요로 하는 식량과 에너지를 얻을 수 있는 곳이다.

대략 6억년 전쯤 단세포생물이 바다에 처음 나타난 이래 다세포 생물로 진화되면서 5억 4천만년 전쯤에는 다양한 해중 생물들이 나타났고 4억 2천만년쯤에는 해생동물마저 육상으로 진출해 오늘날과 같은 다양한 육상식물과 동물 등 지구 생태계가 형성되었다. 이와 같이 바다는 모든 생태계의 발생원이며 미래에도 육지 못지않게 인류가 의지하고 살아가야 할 공간이다.

지구상의 바다는 태평양, 대서양, 인도양 등 3개 대양과 이에 딸린 북극해, 지중해, 홍해, 오즈크해, 동중국해, 동해 등을 모두 합하면 대략  $361 \times 10^{12} \text{km}^2$ 나 된다.

우리나라와 인접한 동해는  $1.01 \times 10^{12} \text{km}^2$  으로서 평균수심이 1,350m나 되고 속초-고성 앞 바다

Exploitation of the ocean's deep water has brought humanity a wealth of treasures for centuries.

Even so, it can confidently be forecast that the Ocean will be far more important to future generations than it has ever been in the past.

Although many researchers endeavor to explore oceans, the ocean holds the crucial elements for maintaining a growing industrialized population in search of raw materials.

This requires careful study and selection of innovations that will provide future generations and raw materials with an unlimited renewable and non-pollution energy and raw materials source with advantageous side benefits.

에는 수심이 3,000m가 넘는 곳이 많아 해양심층수 보고에 속한다.

〈표 1〉 바다별 크기 비교

해역	면적( $10^{12} \text{m}^2$ )	용적( $\text{m}^3$ )	평균수심(m)
태평양	$180 \times 10^{12}$	$724 \times 10^{15}$	4,028
대서양	$106 \times 10^{12}$	$355 \times 10^{15}$	3,332
인도양	$75 \times 10^{12}$	$292 \times 10^{15}$	3,897
동해	$(1.01 \times 10^{12})$	$1.36 \times 10^{15}$	1,350
오즈크해	$(1.53 \times 10^{12})$	$1.28 \times 10^{15}$	838
동중국해	$(1.25 \times 10^{12})$	$0.24 \times 10^{15}$	188
합계	$361 \times 10^{12}$	$1,371 \times 10^{15}$	3,795

※ 주 : 주변바다를 포함한 수치임.

해저 지형도 육지 지형과 비슷하여 육지 평야에 해당하는 대륙붕, 산복에 해당하는 대륙사면, 산맥에 해당하는 해령, 협곡에 해당하는 해구 등이 발달하여 이들 해저에는 각종 생물과 지하자원을 가지고 있을 뿐 아니라 미래 에너지원으로 개발 가능한 메탄하이드레이트(Methan Hydrate), 망강단괴(Manganese nodule), 해양심층수 등 무한한 차세대 자원이 부존되어 있다.

따라서 미국의 경우 1967년 콜롬비아 대학교에서 처음으로 해양심층수 이용에 관한 연구가 시작되었으며 일본은 문부과학성 산하 해양과학기술센터에서 1976년부터 해양심층수에 대한 연구가 시작

되었고 우리나라의 경우 때늦은 감은 있으나 2000년부터 과학기술부 산하 한국해양연구원(KORDI)에 의해 해양심층수에 대한 연구가 시작되었다는 소식이 있어 다행이란 생각이 든다.

## 2. 해수의 용존원소

해수 중에는 다양한 유·무기물이 섞여 있으며 유기물로는 부유생물인 플랑크톤(Plankton)을 예로 들 수 있고 무기물로는 질소나 산소 같은 용존기체와 소금 외에 Si, C, Mg, Ca, Sr, S, B, F, Br 등 각종원소가 이에 속한다.

실제 바닷물을 증발시켜보면 제일 먼저 석회( $\text{CaCO}_3$ )가 석출된 다음 석고( $\text{CaSO}_3$ )가 석출되고 맨나중에 소금( $\text{NaCl}$ )이 정출된다.

바닷물 1Kg중에는 대략 35g의 각종 물질이 녹아 있는데 이중 무기물이 99.9%나 되며 유기물은 0.1%에 불과하다. 미량 원소의 경우는 수심에 따라 용존성에 큰 차이가 나타나기 때문에 편의상 보존성 원소, 영양염형 원소, 스카벤징(Scavenging)형 원소 등으로 세분한다.

여기서 보존성원소라 함은 생화학적 반응이 일어나지 않는 원소로 수심에 관계없이 바다물중 균일하게 녹아 있는 Li, Rb, Mo, U 등이 이에 속한다.

영양염형 원소는 생화학적 반응에 민감하여 표층수에서는 용해 농도가 낮고 심층수에서는 높으며 P, Ba, V, Ni, As 등이 이에 속한다.

스카벤징형 원소는 불안정하여 항상 바닷물 중 용존하는 고형물질에 흡착하려는 성질이 있어 영양염형원소와는 달리 표층수에서는 높고 심층수에서는 낮으며 Al, Mn 등이 이에 속한다.

## 3. 해수 중 용존기체

해수 중에는 질소, 산소, 탄산가스, 희가스(He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn) 등이 녹아 있는데 이들 기체의 용해도는 기체의 원자량, 해수의 수온, 염분, 압력 등에 따라 다르다.

즉, 원자량이 큰 기체의 경우 수온이나 염분이

낮은 반면 압력이 높아지면 용해도 또한 높아진다. 대기 중 산소와 질소의 혼합비는 21:78인데 반해 표층해수의 경우는 34:64로 대기에 비해 용존산소량이 많다.

탄산가스의 경우도 대기 중에서는 0.03%인데 반해 표층 해수 중에는 1.6%나 녹아있다. 표층해수의 용존산소량은 저수온, 저염분 상태를 유지하는 한대나 극지 해역일수록 높아져서 과포화 상태를 이루는 경우가 있으며 용존산소량이 많기 때문에 호기성 생물인 플랑크톤이나 어족자원이 풍부하다. 그러나 용존산소량은 수심이 깊어질수록 줄어들며 수심이 1,000m를 넘게 되면 용존산소가 희박해지거나 거의 없어진다.

해수중 이산화탄소는 탄산( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), 중탄산이온( $\text{H}_2\text{CO}_3^*$ ) 또는 탄산이온( $\text{CO}_3^{2-}$ ) 상태로 녹아있어 항상 평형상태를 유지하며 용해량은 수소이온농도(PH)와 수온에 따라 달라져 수온이나 PH가 높으면 탄산이나 중탄산 이온은 해리되어 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )로 변하기 때문에 탄산가스 용해량도 많아진다.

그러나 해중식물이나 식물성 플랑크톤의 광합성작용에 의해 이산화탄소를 흡수하기 때문에 PH가 높더라도 이산화탄소의 급격한 증가현상은 일어나지 않는다. 일반적으로 표층해수의 경우 PH는 7.9~8.4의 약 알칼리성을 띠지만 수심이 깊어지면 깊어질수록 유기물이 산화 분해되어 PH는 낮아져 수심 1,000m 부근에서는 PH 7.6정도의 중성이 된다.

즉 식물플랑크톤 생산이 많은 해역에서 PH값은 높아 대기로부터 이산화탄소를 흡수하는 양도 많아진다. 반대로 식물플랑크톤 생산이 없거나 적은 곳에서는 해수로부터 이산화탄소를 대기 중으로 방출시킬 뿐 흡수현상은 나타나지 않는다.

최근 급증하는 화석연료의 소비와 삼림의 급격한 감소는 대기 중 이산화탄소량을 증가시켜 온실효과를 가져와 지구 온난화가 가속되고 있는데 이는 바로 탄소순환 균형이 깨졌기 때문이다.

#### 4. 해수 중 용존 영양염

영양염이란 해수 중에 녹아있는 염류를 총칭하는 것으로 인산염, 초산염, 아초산염, 암모니움염, 규산염 등이 이에 속한다.

위의 무기 영양염류는 식물 플랑크톤 등 광합성 생물의 성장과 어류의 먹이로 없어서는 안 될 영양소다. 질소화물의 일종인 암모니움염이나 아초산염은 바닷물에 의해 산화되어 초산염 상태로 섞여 있으며 일반적으로 바다표층의 식물 플랑크톤에서 생겨난 무기 영양염은 광합성에 의해 탄수화물, 지방, 단백질 등 유기물로 변한다.

영양염의 농도는 용존산소와 반대로 표층부에서는 낮고 심층부에서는 높아지는데 이는 식물 플랑크톤 등 생물체 일부가 아래로 침강하면서 산화분해되어 재차 무기영양염 상태가 되어 심층수에 녹아들기 때문이다.

이와 같이 표층부로부터 심층부로 각종 물질을 이동시키는 생물작용을 생물펌프(Bio-pump)라 하며 대략 수심 1,000m 부근에서 영양염류의 농도는 가장 높게 나타난다. 수심 1,000m 부근에서 초산염과 인산염의 농도비(N/P비)는 1:13~15 정도다.

식물 플랑크톤은 영양염원소를 일정비율로 섭취하고 있으며, 인(P) 1원자를 섭취할 때마다 질소(N) 16 원자, 탄소(C) 106 원자를 섭취하는 동시에 산소(O) 276 원자를 방출한다. 식물 플랑크톤이 분해될 때에는 탄소동화작용 때와 반대로 역반응이 일어나 역비율로 산소를 흡수하고 인과 질소를 방출하는데 이러한 관계를 '레드 필드'(Red field)비(比)라 한다. 결국 인과 질소는 함께 유기물 개체 중 함유된 상태로 서서히 침강하다가 다시 분해되면서 유리된 인과 질소로 재생된다.

한편 규산염의 경우는 유기물 분해 속도보다 느려 규소는 인이나 질소보다 더 깊은 곳에 이르러서야 재생된다. 따라서 심해저에서는 인이나 질소보다 규산염의 농도가 높게 나타날 수밖에 없다.

북대서양이나 북태평양에 있어 수심 1,000m 지점의 보존성 인산염 농도는 함께  $1\mu\text{M}$ (micro-mol)인데,  $1\mu\text{M}$ 는 해수 1 $\mu\text{M}$ 중 인이 1 $\mu\text{g}$ 원자, 즉 31.0 $\mu\text{g}$ 이 함유되어 있다는 뜻이다. 북태평양이 심층수중 인산염 농도는 약  $3\mu\text{M}$ 정도인데 이중 2/3는 북대서양으로부터 남극해를 거쳐 북태평양으로 심층수가 이동하는 과정에서 '생물펌프'에 의해 해면으로부터 계속적으로 유기물을 공급받아 증가되었기 때문인 것으로 생각된다.

이와 같이 바닷물은 쉬지 않고 같은 방향을 따라 이동되고 있는데 이를 우리는 편의상 해류라 지칭한다. 해류 중에는 크게 나누어 극지에서 저위도로 향해 흐르는 한류와 저위도에서 고위도로 향해 흐르는 난류가 있는데 한류는 난류에 비해 일반적으로 염도가 낮은 반면 영양염, 용존산소, 플랑크톤 등을 많이 함유하고 있다.

북태평양 해류는 알라스카로부터 대만쪽 해안을 거쳐 필리핀까지 이어지는 흑조(黑潮)와 북태평양에서만 맴도는 북태평양 해류로 나누어지며 북태평양 해류는 다시 해류방향에 따라 시계방향으로 흐르는 아열대 순환류와 그 반대 방향으로 흐르는 북적도(北赤道) 해류로 구분한다.

이러한 해류의 흐름은 북대서양, 남대서양, 북인도양, 남인도양 등지에도 나타나고 있다.

남극 주변을 시계방향으로 맴도는 남극환류가 있는데 남극환류의 발생원인은 바람 때문임으로 풍성순환류(風成循環流)라 부른다.

그러나 바람의 힘이 못 미치는 심층해수의 순환은 주로 수온과 염분 농도차에 기인하고 있음으로 이러한 경우 열염순환류(熱鹽循環流)라 한다.

이밖에 수온이나 염분의 농도가 비슷하여 해류의 대류현상이 나타나지 않고 있는 바닷물을 수괴(水塊)라 하며, 우리나라 동해에는 수괴와 동해 고유수, 동해심층수가 함께 존재한다.

동해 고유수는 수심 250m 이상 깊이에 존재하며



500m의 심층수 사이의 수질을 채취하여 비교, 분석해보면 대략 <표 2>와 같이 나타나며 자원이용 가능성을 요약하면 <표 3>과 같다.

### 7. 심층수 활용에 관한 미래 연구방향

해양심층수의 활용 연구방향은 크게 나누어 '해양심층수 이용연구'와 '해양 수온차 발전연구'로 구분된다.

해양심층수 이용(Deep Ocean Water Application-DOWA로 약칭) 연구는 심층수를 자원화 하는 자원활용분야 이고 해양수온차발전(Ocean Thermal Energy Conversion-OTEC로 약칭)연구는 표층수와 심층수간 수온차를 이용하여 전기를 발전하기 위한 연구 분야를 뜻한다. OTEC 연구는 발전 가능한 일정한 온도차를 보이는 해수가 다량 필요하기 때문에 열대해역으로 연구개발 범위가 국한되나 DOWA 연구는 표층의 저밀도 자원성 해수를 고밀도 자원성 해수로 전환시켜 수산자원의 번식과 성장촉진을 위한 연구임으로 수심 1,000m 이상 되는 모든 해역이 대상이다. OTEC 연구는 1881년 불란서 과학자 '탈산바-르'에 의해 처음 제창된 이래 1930년 쿠바, 마단사즈 만(Matanzas Bay)에서 최초로 22kW급 발전에 성공하였다.

이때 실험에 이용된 장치 중 핵심부분은 직경 1.6m, 길이 2,000m의 취수관을 이용하여 수심 650~700m 지점에서 17,000톤/일의 해양심층수를 양수할 수 있는 설비이다.

그 후 실패와 성공을 반복하면서 1980년에 이르러 UN 재생자원에너지위원회에서 OTEC의 다목적 이용방법이 논의되면서 발전(發電)과 더불어 담수생산, 냉방, 양식 등을 함께 묶어 다목적 이용방법이 개발되어 오늘날에는 미국, 일본 등 선진국에서는 경쟁적으로 연구가 진행되고 있다.

그 실례로 하와이섬 코나해변(Kona Coast) 캐홀곶(Keahole Point)에 위치하는 하와이천연에너지연구소(The Natural Energy Laboratory of

Hawaii : ONELH)에서는 OTEC의 태양에너지 연구(Solar Energy Research Institute : SERI)와 심층수를 이용한 발전과 부산물로 얻어진 심층수를 이용하여 냉방, 동식물의 성장촉진, 해수 정수처리 등 상업적인 어패류 양식은 물론 육상식물의 수경 재배 기술까지 대상으로 하여 연구하고 있다.

특히 우리나라의 경우 한국해양연구원에서 2000년부터 해양심층수의 활용연구를 착수하였기 때문에 때늦은 감은 있으나 앞으로 수산분야나 화학과 의료 분야의 신물질 개발에 많은 활용이 기대된다.

### 8. 결론

우리나라가 해양심층수에 관심을 갖게 된 것은 극히 최근의 일이나 앞으로는 연구에 가속도가 더해질 것으로 전망된다.

특히 BT(Bio-Technology)산업의 눈부신 발전과 더불어 수산분야에 있어서 해양심층수를 이용한 미세 조류 배양과 어류 성장촉진 해수 공급으로 양식해산물의 증산 가능성 연구, 심층수를 이용한 수경 재배 방법 등 연구는 우리 경제 환경에 많은 변화를 가져올 것으로 기대된다.

실제 동해에는 2,000km가 넘는 해안선을 따라 수심 1,000m~3,000m급의 무진장한 해양심층수가 부존 되고 있으므로 수심 500m~1,000m 지점의 심층수를 육지로 취수하여 활용함으로써 양식, 냉난방, 발전, 화학, 의약분야 신물질 개발 등에 많은 활용이 기대된다. 따라서 우리나라에 있어 당면한 해양심층수의 활용연구는 OTEC 연구보다는 DOWA 분야 연구에 더욱 집중적으로 연구가 이루어져야 될 것이며 이에 앞서 ①인공용승기술의 개발, ② 심층수 제어기술개발, ③운용기술개발 등이 선행되어야 될 것이다. 이와 같이 천혜의 부존자원인 동해안 심층수를 극대 개발 활용함으로써 머지않은 장래에 경제적 관점에서 본 서해안 시대는 서서히 동해안 시대로 탈바꿈할 수 있다고 생각된다. (원고 접수일 2004. 1. 21)