

해양심층수 수질조정수의 산업소재 적용성 평가

김현주·문덕수·조순영*·이유순**

한국해양연구원 해양개발시스템연구본부, *강릉대학교, **경북과학대학

Applicability of Mineral-controlled Water from Deep Ocean Water for Industrial Utilization

H.J. Kim, D.S. Moon, S.Y. Cho* and Y.S. Lee**

Ocean Development System Laboratory, KORDI, *Kangneung National University,

**KyungBuk Science College

Key Word : Deep Ocean Water (해양심층수), Mineral-controlled Water (수질조정수), Desalination (담수화), Industrial Utilization (산업적 이용)

Abstract

Various merchandises have appeared in recent markets of mineral water, beverage, food and cosmetics etc. These are almost manufactured by adding raw seawater, desalinated water, brine or salt from Deep Ocean Water(DOW), and it intimated desalination and mineral extraction are key techniques for DOW business.

This study aims to verify the functional performance of mineral-controlled water produced by the basic methods which were proposed by authors for industrial purposes. This water revealed the possibility of the radical scavenging effects and moisturizing capability.

1. 서론

최근, 해양심층수의 다양한 자원성이 주목을 받고 있고, 이에 대한 체계화가 진행되고 있다. 미국과 일본은 '해양온도차 발전연구와 청정해수를 이용한 수산양식연구'라는 공익적 목적을 위해 해양심층수를 개발하고 이용하여 인류의 생존과 번영을 위해 필수적으로 요구되는 노력으로 수요에 대한 시대적 배경에 따라 등락을 거듭하여 왔다. 70년대 초반의 유류파동에 대한 악몽이 최근 유가의 급등으로 살아나고 있으며, 해양심층수의 이용에 대한 공익 개발의 한 분야로써 되새기게 하는 것이다.

한편, 다양한 해양심층수 상품들이 우리나라로 수입되고 있으며, 사칭제품들이 나오기도 하면서 해양심층수 이용에 대한 관심이 고조되고 있다. 이는 인류를 위한 공공의 포괄적인 의미보다 개인들의 건강과 편리를 위한 상품 개발이 먼저

관심을 끌기 때문이다. 그러나, 이는 삶의 질을 향상시킬 수 있고 관련산업을 부양시킬 수 있다는 측면에서 긍정적이다. 또한, 이러한 상업적 활용이 공익적 개발을 촉진시킬 수 있다는 점에서 의미를 부여받을 수 있다.

이에 본 연구는 국가적 차원에서 물 부족을 해소하기 위한 해양심층수 담수화에 대한 연구 결과의 하나로써 부가적 활용성을 살펴보기 위한 것이다. 해양심층수의 담수화는 방식에 따라 달라지지만 거의 순수에 가까운 물로써 제조되며, 이를 후처리를 통해 수질 조정하여 기능성을 제고시킬 수 있다. 여기서, 수질 조정수를 식품이나 화장품 등의 제조에 이용할 경우에 어떤 효과가 있을 수 있는지를 알아 봄으로써 관련산업의 부양에 해양자원이 어떻게 활용될 수 있는지 검토하고자 하였다.

2. 해양심층수 담수화와 수질조정

현재, 우리나라는 물 부족 예비국가로서 용수자원 확보를 위해 댐을 건설하여 하절기 집중호우시 저수식으로 물을 확보하여 관리하여 사용하고 있으나 갈수기 동안 심각한 물 부족에 시달리고 있다. 특히, 그 정도는 댐 건설 등의 혜택을 충분히 받기 어려운 해안지역이나 도서지역에서 더욱 심각한 실정이다. 환경부(1996)에 따르면 우리나라는 2006년에 3억톤/년이 부족하고, 2011년에 약 19억톤/년이 부족하게 되는 물 부족 국가가 될 것으로 예상되고 있다.

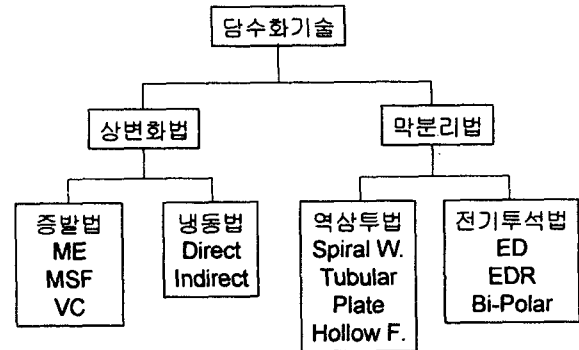
물 부족을 해결하기 위한 대책이 다양하게 검토되고 있으며, 그 중에서도 해수담수화는 풍부성과 안전성면에서 중요한 대책으로 평가될 수 있다. 한편, 상수도 생산단가는 해마다 증가하고 있는 추세이며, 최근에는 지역에 따라 다르지만 392원/톤 ~ 738원/톤으로 나타나고 있다. 해수 담수화 생산단가는 감소하고 있지만 최근의 자료에 의하면 1,200원/톤 (5,000톤급 역삼투식 기준)에 달하여 상수도 생산단가에 비해 상대적으로 고가인 편이다. 그러나, 계속적으로 증가하고 있는 상수도 생산단가와 감소하고 있는 해수담수화 생산단가가 현재의 변화추세를 따른다면 비슷해진 후 역전되는 현상도 발생할 수 있을 것으로 생각된다.

해수담수화를 물 부족 대책으로서 보급을 위해서는 지속적인 기술개발에 의한 경제성 확보가 보장되어야 하며, 이는 비용의 감소나 편익의 증대를 통해 달성될 수 있을 것이다. 여기서, 해양심층수를 이용한 담수화는 편익의 상대적 증대를 통한 경제성 확보가 가능할 것으로 판단되므로 기대가 모아지고 있다.

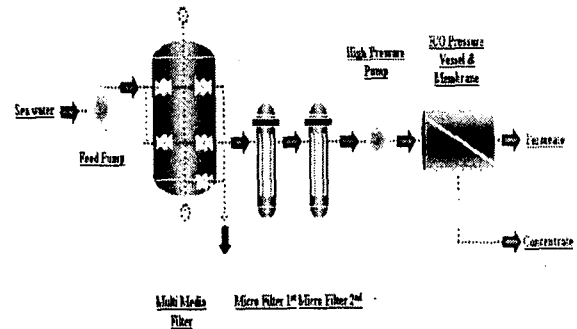
해수 담수화기술은 [Fig. 1]과 같이 상변화법과 막분리법으로 대별할 수 있다. 상변화법에는 증류수 제조공정과 같은 원리를 이용하는 증발법과 해수를 냉동(염분은 얼지 않음)한 후 얼음을 녹여 담수로 이용하는 냉동법이 있다. 막분리법은 용매는 통과하고 용질은 통과하지 못하는 선택적 투과막원리를 이용한 역삼투법(RO)과 전기를 이용하여 음이온과 양이온을 별도의 극성 분리막으로 제거하는 전기투석법(ED)으로 나눌 수 있다.

역삼투식 해수담수화법은 [Fig. 2]에 나타낸 것과 같이 해수를 고압펌프로 약 50 ~ 60기압으로 가압하여 분리막에 공급하면 압력차에 의하여 용매인 순수는 분리막을 통과하고 염분은 막에

걸리는 원리로 담수를 만든 방식이다. 해수의 경우 원수의 약 20 ~ 40%가 담수로 전환되는데, 염분 배제율은 약 98.5 ~ 99.6% 정도이다.



[Fig. 1] Classification of desalination methods.



[Fig. 2] Schematic diagram of reverse osmosis desalination system

용존 성분들을 100% 제거하는 것이 아니기 때문에 유익한 물질들을 잔존시킬 수 있는 장점이 있다[표 1]. 그러나 원수에 부유물질이 많이 함유되어 있는 경우에는 역삼투막이 이로 인해 오염되거나 막힐 수 있으므로 사전에 모두 제거해 주어야 하는데, 이 공정을 전처리라고 한다. 전처리과정에서는 고형분, 미생물, 콜로이드 등의 미세 부유물질을 제거하고 pH의 조정, 스케일 방지제의 투여하게 된다. 실제 전처리는 역삼투막의 수명 및 성능을 좌우하는 공정이며 지역의 특수성에 가장 민감한 부분이므로 시스템 설계 시 주의를 기울여야 한다. 여기서, 해양심층수를 원수로 사용할 경우, 이를 위한 비용이 절감되는 특성이 있다.

[Table 1] Results of water quality treated by various desalination systems

구분	수질항목	단위	종전	개정 (02.6.21)	탈염수 (표층수RO)	탈염수 (심층수RO)	탈염수 (심층수ED)
	총 계		47개	55개			
미생물	일반세균(Psychrophilic bacteria)	cfu/ml	100	100	60	불검출	불검출
	총대장균군(Total Coliforms)	/50ml	ND	ND	음성	불검출	불검출
	분원성대장균(Fecal Coliform)	-	-	ND	미분석		
	대장균(Escherichia Coli)	-	-	ND	미분석		
유해중금속기타물질	납(Pb; Lead)	mg/L	0.05	0.05	0.00	불검출	불검출
	불소(F; Fluoride)	mg/L	1.5	1.5	0.0	불검출	불검출
	비소(As; Arsenic)	mg/L	0.05	0.05	0.000	불검출	불검출
	세레늄(Se; Selenium)	mg/L	0.01	0.01	0.000	불검출	불검출
	수은(Hg; Mercury)	mg/L	0.001	0.001	0.000	불검출	불검출
	시아니드(CN; Cyanide)	mg/L	0.01	0.01	0.00	불검출	불검출
	6가크롬(Cr+6; Hexachromium)	mg/L	0.05	0.05	0.00	불검출	불검출
	암모니아성 질소(NH3-N; ammonium Nitrogen)	mg/L	0.5	0.5	0.00	불검출	불검출
	질산성 질소(NO3-N; Nitrate Nitrogen)	mg/L	10	10	0.0	불검출	0.1
	카드뮴(Cd; Cadmium)	mg/L	0.01	0.005	0.000	불검출	불검출
보론(붕소, B; Boron)	mg/L	0.3	0.3	0.39	0.7	1.8	

수질조정기술은 해수담수화 이후에 적용되어 [Table 1]의 수질을 목표에 맞게 변화시키는 일종의 후처리 기술이다. 수질조정기술은 최근 해양심층수의 고도 활용을 위한 방안으로 개발 및 이용되고 있으며, 다양한 기술들로 연구 개발되고 있다. 여기서는 다양한 이온교환막과 운전조건을 실험하여 전기투석장치와 전기분해장치를 각각 또는 혼합한 간이 수질조정기법을 활용하였다.

3. 해양심층수 수질조정수의 특성

간이 수질조정기법을 이용한 해양심층수 수질조정수는 2가지로 제조되었으며, 이들은 목표 상품의 관련 법규를 만족시킬 수 있다면 음용해양심층수, 식품 및 음료수 원료 또는 식품첨가제, 발효용수, 화장수 및 화장품 원료수 등으로 활용될 수 있다. 그러나, 음용해양심층수(판매용 병입수) 등은 현행법상 적용이 곤란하며, 어떤 항목은 처리가 가능하지만 비용을 상승시키는 요인이므로 신중한 검토가 필요하다.

해양심층수 수질조정수의 제품화 적용성을 살펴보기 위하여 일반적인 특성을 분석해 놓고, 이들을 식품 및 화장품에 적용할 경우 어떤 효능이 있는 지 살펴보고자 하였다. 그러나, 해양심층수 중의 수많은 원소들이 각각 어떤 성능을 발휘하여 상품화에 도움이 될 수 있는지를 알아

내기는 쉽지 않다. 일본의 경우에도 몇몇 원소들의 효능에 대해 실험적 연구를 실시한 바 있으나 명확하게 정리된 것은 아니며 청량음료[Table 2]에서는 경도 등으로 표시하고 있는 정도이다.

해양심층수 수질조정수중의 무기질 함량과 경도를 측정하였다. 무기질 조성은 원소분석기(Perkin-Elmer, USA)를 이용하여 측정하였다. 경도는 측정된 Ca²⁺ 및 Mg²⁺의 양을 이것에 대응하는 탄산칼슘의 ppm으로 환산하여 [Table 3]에 나타내었다. 즉, 검수를 50mL 취하고 여기에 1N KCN 용액을 2-3방울, 염화암모늄 암모니아 완충액 1mL 그리고 EBT 지시약을 넣은 다음 0.01M EDTA 표준용액으로 적정하였다.

(Table 2) Marked contents in some merchandises of mineral water from DOW

구분	K	Na	Ca	Mg	경도
심층수 원수	384.0	8,416.0	433.2	1,530.0	
일본상품 A	0.8	92.0	0.2	0.1	1
일본상품 B	6.0	166.0	10.0	21.0	103
일본상품 C	17.0	23.0	18.0	52.0	250
일본상품 D	69.0	74.0	71.0	200.0	1000

[Table 3] Hardness of mineral-controlled waters

구분	경도	구분	경도	구분	경도
ROMW1	59.31	ROEM1	32.87	ROEP1	24.92
ROMW2	73.71	ROEM2	42.98	ROEP2	47.92
ROMW3	104.44	ROEM3	63.61	ROEP3	22.13
ROMW4	136.67	ROEM4	78.65	ROEP4	73.06
ROMW5	174.06	ROEM5	110.88	ROEP5	97.34
ROMW6	220.48	ROEM6	235.53	ROEP6	181.16
ROMW7	350.28	ROEM7	592.26	ROEP7	428.29
ROMW8	597.42	ROEM8	951.14	ROEP8	271.41

4. 해양심층수 식품 개발을 위한 수질조정수의 성능

4.1 수질조정수의 항산화성

항산화 활성은 Marsden S. Bios의 방법에 의해 측정하였다. 각 분획물을 메탄올로 용해하여 4mL로 맞추고, 메탄올로서 1.5×10^{-4} M/mL 농도가 되게 한 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH) 용액 1mL를 잘 섞은 후 실온에서 30분간 방치한 다음, 517nm에서 흡광도를 측정하여 free radical 소거 효과를 대조군과 비교하였다. DPPH 소거능은 대조군과 실험군의 흡광도 차를 대조군의 흡광도로써 나눈 값을 백분율로 하여 나타내었다.

항산화성 측정방법의 하나인 DPPH법은 free radical인 활성 산소들에 대한 봉쇄력을 보유하고 있는지를 판단하는 방법으로서 여러 가지 수질조정수에 대한 항산화성 측정 결과를 [Table 4]에 나타내었다. 수질조정수 중에서 약산성을 띄도록 수화한 시료에서는 미약하기는 하지만 항산화성이 전체적으로 35에서 10%내외로 나타났으며 일부 약알카리성을 띄도록 수화한 시료에서는 항산화성이 10% 미만으로 나타났다.

한편, 해양심층수를 이용한 와 심층수로 조제한 소금의 항산화성을 살펴본 결과를 나타내었다. 소금의 농도를 7%로 조제하여 항산화성을 보았을 때 대부분의 소금에서 항산화성이 20%전후로 나타났으며, 한국 소금의 경우에는 표층

[Table 4] Radical scavenging effects(%)

Case	ROMW	ROEM	ROEP
1	0	0	0
2	0	3.0	8.3
3	0	4.7	5.6
4	0	3.6	0
5	0	11.8	0
6	0	6.5	0
7	0	5.2	0
8	0	4.2	0
9	0	8.7	0

수로 만든 소금과 심층수로 만든 소금 모두에서 유사한 항산화성을 나타내었다.

한편 두 종류의 일본 심층수 소금에서 나타난 항산화성 즉, 0.5%와 21.9%라는 값의 차이는 같은 심층수라 하더라도 채취되는 지역에 따라 다소간의 성분이나 성상의 차이에 의한 결과라고 사료되어진다.

4.1 수질조정수의 항암성

항암성 측정을 위하여 DMEM배지를 만들 때 증류수 대신 시료(해수)를 사용하였으며, 소금과 간수의 경우는 증류수에 3.5% 용액을 만들어 시료로 사용하여 암세포(대장암, 간암, 유방암, 흑색종세포 등)에 도입시켜 세포독성을 살펴보았다. 그 결과, 대상 수질조정수는 모두 암세포에 대한 세포독성은 나타나지 않았다. 그러나, 소금의 경우는 3.5%농도에서 모두 암세포에 세포독성이 나타났으며, 특히 꽃소금과 일본산 심층수 소금은 바닷물의 염농도 절반에 해당하는 1.75%에서도 세포독성을 나타내었다. 항암효과가 있는 심층수 소금의 경우 대장암, 간암, 유방암세포 등 암세포 종류에 따른 차이는 없는 것으로 나타났다[Table 5].

[Table 5] Cell toxicity of controlled water from DOW and DOW salt

Samples	intact solution	half solution
ROEM1	-	-
ROEM2	-	-
ROEM3	-	-
ROEM4	-	-
ROEM5	-	-
ROEM6	-	-
ROEM7	-	-
ROEM8	-	-
DOW salt	+++	-
Brine from DOW	+++	-

+++ : very strong, ++ : middle strong,

+ : weak strong, - : no effect.

5. 수질조정수의 보습성 평가

해양심층수 자체의 피부 보습력을 확인하기 위하여 화장품에 사용되는 정제수와 보습제로 널리 사용되는 히아루론산 나트륨염 및 1,3-부틸렌글리콜과 비교하여 보았으며, 또한 심층수를 제품에 적용하였을 때의 피부 보습력도 측정하여 보았다. 또한 20명의 전문 미용인을 대상으로 사용감에 대해서 5점 척도로 평가하였다.

심층수 자체의 보습력을 확인하기 위하여 Corneometer CM820을 이용하여 정제수 및 히아루론산 나트륨염, 1,3-부틸렌글리콜과 비교 관찰하여 보았다. 그 결과를 [Table 6]과 [Fig. 3]에 나타내었다.

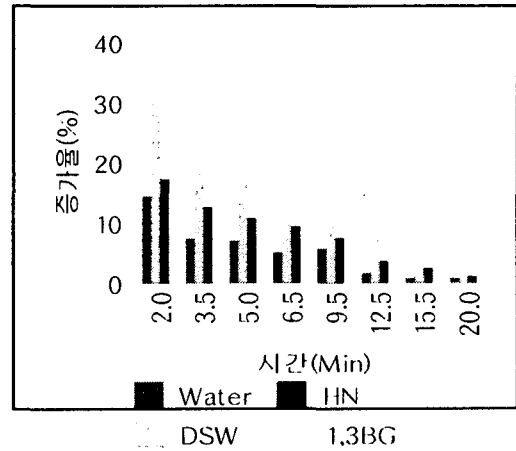
심층수는 기존의 화장품에 사용되는 보습제보다 수분 보유능 즉 보습력 증가율이 대조군인 정제수와 보습제로 많이 사용되고 있는 히아루론산 나트륨염 및 1,3-부틸렌글리콜의 보습력 증가율보다 현저하게 증가함을 확인할 수 있었다.

이를 적용한 화장품에서도 유사한 결과가 나타났으며, 수질조정수 중의 가능성 있는 몇몇 제품의 경우 보습성을 기능화할 수 있음을 확인할 수 있었다.

[Table 6] Moisturizing performance of various ingredients

시간(Min)	*Water	*DSW	*HN	*1,3-BG
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
2.0	14.41	32.12	17.22	24.13
3.5	7.46	20.35	12.59	13.03
5.0	7.11	16.86	10.82	9.26
6.5	5.07	15.06	9.44	8.03
9.5	5.76	10.03	7.50	6.62
12.5	1.73	8.54	3.62	6.85
15.5	0.86	6.90	2.47	4.58
20.0	0.89	2.19	1.15	1.58

*Water : 물, *DSW : 심층수, *HN : 히아루론산 나트륨염, *1,3-BG : 1,3-부틸렌 글리콜



[Fig. 3] Moisturizing capability of various ingredients for cosmetics

6. 결론

해양심층수의 산업적 이용을 위한 다양한 방안들이 강구되고 있으며, 미국과 일본 등에서는 건강식품, 발효식품, 화장품, 음료수 및 술 등의 800여종 상품이 출시되어 새로운 산업으로 자리 잡고 있다. 해양심층수가 상품개발에 적용되는 것은 해양심층수 원수, 담수화 처리수, 수질조정수, 일반 농축수 및 미네랄 농축수 등이다. 따라서, 이를 위한 핵심적인 기반기술은 해수담수화 및 수질조정기술이라 할 수 있다.

해양심층수의 수질조정기술을 정립하기 위하여 해수담수화기법들에 대한 비교연구를 거쳐 역삼투식 해수담수화의 후처리과정으로써 전기투석 및 전기분해를 수정 및 적용시킨 간이 수질조정기법을 채택하였다. 그 결과로써 다양한 경도 및 무기질의 수질조정수를 제조하였고, 이들이 주요 상품화 대상인 음료 및 식품, 화장품 등에 적용할 경우 어떤 특성이 있을 수 있는 지에 대하여 실험 및 분석하였다.

수질조정수의 항산화성은 해양심층수 소금에 비하여서는 낮았으나 약간의 항산화성을 나타내었으며, 수질조정에 따라 다른 생리활성이 존재할 가능성도 높은 것으로 사료되었다. 수질조정수의 항암작용에 대한 가능성을 알고자 했던 암세포에 대한 세포독성은 나타나지 않았다.

한편, 수질조정수의 피부 보습력은 기존 보습제에 비해서도 높은 보습력을 나타내었고, 수질조정수 중의 몇 종은 제품에 적용할 경우 사용감에 대한 유효성과 안정성 면에서 가능성이 있음을 확인하였다.

향후, 보다 기능성을 높힐 수 있는 수질조정기술의 개발 및 결과수의 기능성을 확인하여 산업화를 지원할 수 있도록 하여야 할 것이다. 이를 통해 해양심층수를 이용한 해양 신산업의 창출과 연안역의 활성화 될 수 있을 것이다.

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 (2001): 해양 심층수의 다목적 개발(2). 해양수산부, p.454.
- [4] 김현주 (2000): 동해 심층수의 특성 및 취수 기술. 해양수산부, 제1회 동해 심층수개발이용심포지움 요지집, 19~26.
- [5] 김현주, 김정훈(2001): 해양심층수의 담수화에 대한 적용성 평가, 제2회동해심층수개발및이용심포지움요지집, 52-54.
- [6] 문덕수, 정동호, 김현주, 신필권(2004): 역삼투압 원리를 이용한 해수담수화 장치의 성능 평가, 한국해양환경공학회 04년총계논문집, 167-172.
- [7] 中川光司 等 (2000): 海洋深層水材料にした清涼飲料とドリンク薈の開発, 海洋 22號, 95-100.
- [8] 新井陽一郎 (2000): 海洋深層水材料にした化粧品の開発, 海洋 22號, 112-116.