

해양심층수 이용 냉방시스템에 관한 연구

박성제* · 김효봉* · 김현주**

*한국기계연구원

**한국해양연구원

A Study on the Air Conditioning System by the Low Temperature Energy of the Deep Seawater

SEONG-JE PARK*, HYO-BONG KIM* and HYEON-JU KIM**

*KIMM, Daejeon, Korea

**KORDI, Daejeon, Korea

KEY WORDS: Air conditioning system 공조시스템, Heat exchanger 열교환기, Refrigerator 냉동기

ABSTRACT: This paper shows the study on application of the low temperature energy in the deep seawater. Deep, cold seawater has long been recognized as a valuable ocean energy resource. Recently, research and experimentation has been conducted on energy systems using deep seawater: deep seawater air conditioning system, ice-making device, salt and fresh-water manufacturing system and the Spray freeze drying system for extracting valuable material of the deep seawater. They are technically and economically feasible today; once installed, the energy is inexhaustible and there are no adverse environmental impacts. Because of the economy of scale in the air conditioning system, the seawater A/C system is most appropriate for supplying multiple buildings or hotels in a coastal area.

1. 서 론

최근 생활 수준이 향상됨에 따라 완전한 공기조화 시스템을 갖춘 설비가 날로 증대되어 가고 이에 따른 에너지 사용량도 증가하게 되었다. 특히 부존자원이 빈약한 우리나라의 경우에는 에너지 생산을 위한 원자재 도입에 많은 외화를 지출하고 있는 실정이므로 냉난방을 위한 공조장치에서도 사용에너지의 절약을 위한 관심을 기울여야 하겠다. 해양 심층수는 저온성, 고영양성 및 청정성을 가진 풍부한 자원으로서 해양산업 및 지역발전을 위한 유용자원이므로 다단계 이용기술의 정립 및 종합화를 위한 기술개발이 요구된다. 그리고 동해 심층수는 1 ~ 2°C의 안정된 저온 열원이 공급되기 때문에 에너지 재활용 및 절약 측면에서 유용한 자원으로 간주된다.

1 ~ 2°C의 동해 심층수를 이용한 에너지 활용 시스템을 고려해 보면 아래와 같다.

- (1) 저온수를 이용한 직접 냉방장치
- (2) 저온수를 이용한 저온 냉동고(-30 ~ -40°C)
- (3) 저온수 이용 Heat pump 온수 공급 및 난방 장치
- (4) 저온수 이용 Heat pump 건조기
- (5) 수축열 또는 빙축열을 이용한 에너지 이용의 합리화
- (6) 해수 제빙기
- (7) 유용물질 추출 및 분리 장치

이와 같은 시스템을 이용하기 위해서는 각 장치별, 용량별 연간 에너지 비용 및 시설비, 운전비 등의 평가가 필요하고, 에너지 절약성에 대한 정량적인 평가가 요구된다. 또한 시스템 설계 및 제작, 운용을 위해 열원방식 선정, 시스템 설계 기술, 시스템의 고효율화, 자동제어 기술, 환경오염 및 지구온난화 대비 기술 등에 대한 연구 개발이 시급하다.

한편 동해 연안 심층수의 다목적 개발과 다단계 이용을 위해 지역의 냉난방, 냉장, 냉동, 제빙, 건조 장치 등의 복합적인 에너지 활용의 필요성이 매우 높다. 기존의 전력이나 연료 등의 추가 사용없이 동해 심층수의 무궁무진한 저온 열원을 이용함으로써 높은 에너지 절약이 기대되며, 지역 경제 발전에 커다란 기여를 할 것으로 판단된다.

해양 심층수를 이용한 냉난방은 청정한 생활문화를 조성할 수 있을 것이며, 항만의 해수교환 촉진 및 해조장 조성에 의해 쾌적한 해양문화 공간이 조성될 것이다. 청정 양식의 산업화와 연계된 소득 증대와 함께 어촌의 삶의 질 향상과 지역의 특성을 살린 관광자원 개발을 유도할 수 있다. 담수화를 통하여 생산된 용수는 인근 주민의 생활용수로 공급할 수 있고 또 양질의 상용생수로 판매가 가능하므로 소득증대에도 기여할 수 있다.

그림 1은 일례로서 해양심층수의 에너지 다단계 이용 개념도를 나타낸 것이다. 해양심층수를 이용하여 냉난방 뿐만 아니라 냉동, 냉장 및 건조 기술 등을 이용할 수 있는 시스템을 총괄적으로 구성한 시스템을 보여주고 있다. 그리고 표 1은 1 ~ 2°C의 온도를 유지하고 있는 해양심층수의 취수량에 따른 냉

방능력을 나타낸 표이다.

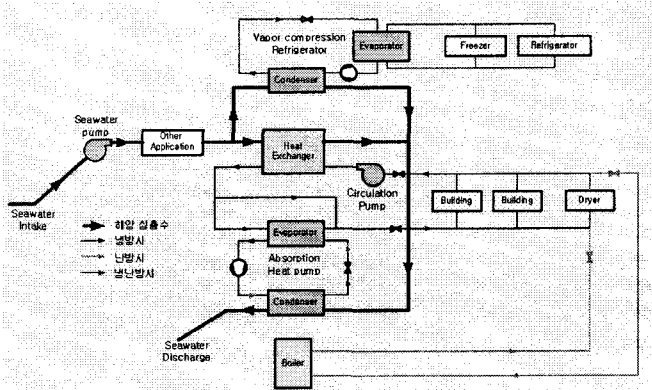


그림 1 해양심층수의 에너지 다단계 이용 개념도

표 1 해양 심층수 취수량에 따른 냉방능력의 변화

취 수 량(Ton/day)	냉방용량(kcal/h)	냉방용량(USRT)
100	20,833	6.2
500	104,166	31.4
1,000	208,333	62.8
5,000	1,041,666	313.8
10,000	2,083,333	627.5
50,000	10,416,666	3,137.6
100,000	20,833,333	6,275.0

해양 심층수로부터 급수된 1 ~ 2℃의 물은 에너지 이용에 앞서 다른 응용분야에 활용된 다음 크게 3가지의 에너지 이용 분야에 활용된다.

- (1) 증기 압축냉동기의 응축기 냉각(냉장, 냉동, 냉각)
- (2) 해수 열교환기 냉각(빌딩 공조 냉방)
- (3) 흡수식냉난방기의 응축기 또는 증발기 냉각(열펌프로서 빌딩 난방) + 보일러(난방)

1 ~ 2℃로 급수된 해양 심층수는 냉장, 냉동, 냉각, 공조 사이클에 순환하지 않고 단지 열교환기를 통해서 냉매 또는 오염 처리된 물과 열교환하고, 냉매 또는 오염 처리된 물이 직접 냉장, 냉동, 냉각, 공조 사이클에서 순환하여 저온의 에너지를 이용하게 된다.

증기 압축 냉동기의 응축기에서 해양 심층수와 열교환된 냉매는 온도가 낮기 때문에 -40℃ 이하의 초저온을 얻을 수 있기 때문에 냉동 창고로도 활용될 수 있다.

그리고 해양 심층수와 열교환된 공조 사이클의 순환 냉매(물)는 하계 냉방 시에는 해양 심층수의 저온 에너지를 이용하여 냉방에 활용되고, 흡수식 열펌프의 응축기와 열교환하여 고온으로 건조기 등에 활용할 수 있다. 또한 동계 시에는 흡수식 열펌프의 응축기와 열교환하여 고온으로서 보일러와 함께 난방 및 건조기로서 활용할 수 있다.

해양 심층수와 열교환하게 되는 열교환기는 부식과 오염(fouling)이 큰 문제로 대두되기 때문에 내식성이 강한 티타늄

이나 알루미늄 열교환기를 사용하므로써 이 문제를 해결할 수 있다. 일반적으로 해양 심층수를 이용한 냉방 설비는 냉동기 설비를 이용한 냉방에 비해 약 80%의 에너지 비용을 절감할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 해양심층수의 저온, 항온성의 특성을 이용하여 에너지 활용 기술을 발전시키기 위하여 냉난방시스템에 사용되는 주요 에너지 기기 등을 설명하고, 구체적인 냉난방시스템에 대한 기술을 서술한 뒤, 해양심층수센터에 설치된 냉방시스템에 대한 설계, 제작과 성능시험평가에 관하여 서술하고자 한다.

2. 해양심층수 이용 냉난방 시스템

가정 및 상업용 냉난방, 급탕, 냉장/냉동창고의 열수요는 쾌적한 주거환경 및 진작환경 추구로 높은 증가율을 보이고 있다. 이러한 냉난방, 급탕, 냉장/냉동창고용 열에너지는 80℃ 미만의 비교적 저온이기 때문에 해양심층수의 저온 및 항온에너지를 적극적으로 이용하여 저온 열수요에 대처할 수 있다. 그림 2는 해양심층수의 내식성 열교환기를 이용한 온도별 응용범위를 보여주고 있다. 주요 열원기기는 보일러, 열펌프와 냉동기 등으로서 온도 대역별로 급탕, 냉난방, 냉장/냉동기 및 창고와 초저온 냉동기로 구별할 수 있고, 주요한 열전달 기구로서 열교환기가 사용되는데, 해수를 사용하므로 내식성에 대한 고려가 무엇보다 중요하기 때문에 주로 티타늄 재료를 이용한 열교환기를 주로 사용한다.

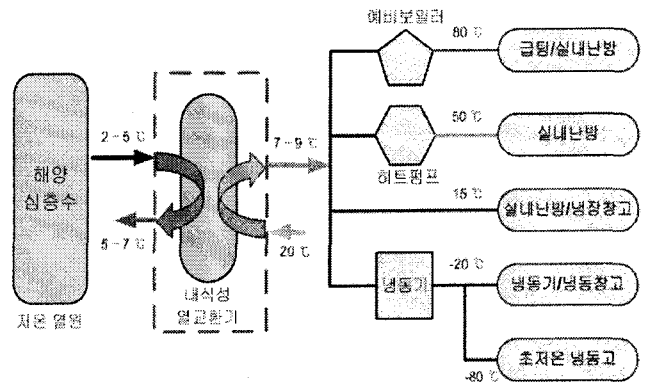


그림 2 해양심층수의 열교환을 이용한 온도별 응용범위

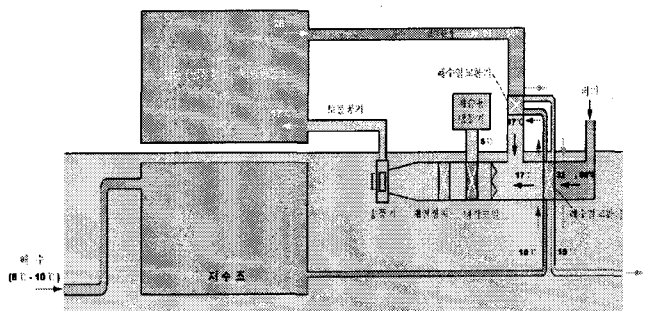


그림 3 해양심층수 이용 에너지 절약형 냉방/냉장/냉동 장치 개념도

그림 3은 해양심층수를 이용한 에너지 절약형 냉방/냉장/냉동 장치의 개념도를 보여주고 있다. 해양심층수를 사용하므로써 에너지소모의 주요원인인 냉동기를 작동시키지 않고 해수용 열교환기를 이용하여 직접냉방을 할 수 있고, 단지 제습을 위한 보조용 제습냉동기만 간헐적으로 작동하여 쾌적한 환경조건을 구현할 수 있는 장점이 있다.

열교환기는 일반적으로 서로 다른 온도의 두 유체 사이에 열에너지를 전달하는 장치로서 패키지형 및 자동차용 에어컨, 냉장고 등의 냉방시스템에 널리 사용되고 있으며 화석연료를 사용하고 있는 산업분야에서 폐열 회수장치로 이용하여 에너지를 회수할 목적으로 사용하고 있다. 이러한 열교환기의 효율적인 설계 및 운영은 전체 시스템의 성능향상에 필수적이며 최근 에너지 부족의 문제와 환경 문제 때문에 고신뢰성을 갖는 열교환기 해석 및 실험자료가 중요하게 고려되고 있다.

최근 재료기술의 발달로 인하여 티타늄과 같은 내식성 재질을 사용한 열교환기의 제작이 가능해짐에 따라 내식성에 의한 문제점은 많이 해결되게 되었다. 특히 이와 같은 연구를 통해 해양심층수의 열에너지를 효율적으로 이용함과 동시에, 해수의 염분등의 침식성 요인에 대한 대처가 가능하게 되었다.

열회수 방법으로는 원리적으로 잠열회수와 현열회수가 있지만 해양심층수의 저온성을 활용하는 방법은 현열회수에 의한 방법이다. 해양심층수의 현열회수에 사용 가능한 전열형태를 분류하면 shell and tube type, plate fin type, plate type 등으로 나눌수 있다.

해양심층수용 열교환기의 부식문제를 해결하기 위하여 내식성에 대한 특징을 가지고 있는 티타늄을 사용한 열교환기의 주요 특징을 정리하면 아래와 같다.

- ① 질산과 같은 산화성 환경에 강하다. 이는 스테인레스 강과 같이 부동태 피막이 생성되기 쉽고, 스테인레스 강처럼 과부동태 부식 현상이 없기 때문에 고온·고농도 또는 산화제를 함유하는 질산중에서도 내식성을 유지할 수 있다.(표 3 참조)
- ② 염화물 이온에 의해서 부동태 피막이 파괴되기 어렵다. 따라서 스테인레스 강이나 알루미늄과 같이 공식(孔食), 틈새부식, 응력부식 균열 등이 발생하기 어렵다.
- ③ 염산이나 황산 등의 비산화성 산에 대해서는 부식하기 쉽지만, 극히 미량의 산화제(Cu^{2+} 이온이나 용존산소 등)를 첨가하면 쉽게 부동태화 된다.
- ④ 스테인레스 강과 달리 용접에 의해 내식성이 떨어지지 않는다.
- ⑤ 스테인레스 강과 달리 냉간가동에 의해 내식성이 나빠지지 않는다.
- ⑥ 티타늄중에 불순물 원소가 다소 함유되어도 내식성이 악화되지 않는다. 이것은 철강이나 스테인레스 강과는 다른 성질이다.
- ⑦ 다른 내식재료와는 달리 미량의 수분이 있다면 염소가스에 견딜 수 있다.
- ⑧ 동합금과 달리 아황산가스(SO_2)나 황화수소(H_2S)에 견딜 수 있다.

⑨ 모든 유기산에 대해서 우수한 내식성을 나타낸다. 특히 공업용 약품으로 다량으로 사용되는 초산에는 전(全)농도 범위에 걸쳐서 사용 가능하다.

⑩ 80℃ 이상의 고온에서 수소를 다량으로 흡수하면 티타늄 수소화물이 석출하여 연성이 저하되기 때문에 주의해야 한다. 수소의 흡수는 대기산화 처리에 의해 표면에 티타늄 산화물을 형성시켜 방지할 수 있다.

⑪ 비중은 4.51 g/cm³으로 철강의 약 60%로 비강도가 크다.

⑫ 비열은 오스테나이트(austenite)계 스테인레스 강과 거의 같다. 철강보다 비중이 작기 때문에 열용량이 작고, 가열되기 쉽고, 열기 쉽다.

⑬ 내식성이 우수하지만 이것은 티타늄재 표면에 형성된 산화 티타늄의 부동태 피막이 견고하고, 파괴되어도 산화성 환경에서는 재생이 쉽다는 점, 특히 염소이온에 대해서 강하다.

이러한 특성을 다른 금속재료와 비교하면 일부의 환경을 제외하고 뛰어난 이점을 가지고 있는 것을 알 수 있다.

표 2 대표적인 티타늄의 종류

분류	JIS 또는 ASTM	대표적인 화학조성(%)	인장강도(MPa)	비고
순 티타늄	JIS 1종	Ti>99.5 (잔류 O ₂ , Fe, N, H)	274-412	성형가공성 우수
	JIS 2종	Ti>99.2(%)	343-510	가장 널리 쓰임
	JIS 3종	Ti>99.1(%)	480-617	-
티타늄 합금	ASTM G.7	Ti-0.15Pd	JIS 2종 해당	틈새부식
	ASTM G.12	Ti-0.8Ni-0.3Mo	>480	"
	ASTM G.5	Ti-6Al-4V	>892	고강도
	-	Ti-5Ta	JIS 2종 해당	내 질산성
표면 처리	-	귀금속 피복처리	-	틈새부식

내식성이 요구되는 기기에 이용되는 대표적인 티타늄과 그 화학조성 및 인장강도를 표 2에 나타내었다.

우선 순수 티타늄의 경우 1 - 2종은 주로 산소와 철 함유량이 다르지만, 일반적으로는 틈새부식이나 공식 등에 대한 내식성의 차이는 없다. 그러나 황산과 같은 비산화성 산 용액에서 일어나는 균일부식에서는 철함유량이 많을수록 부식속도가 증가하기 때문에 주의가 필요하다.

3. 주요 에너지 기기

건물 냉난방 및 산업용 공조 시스템에 주로 사용되고 있는 열원 방식과 에너지를 살펴보면 다음의 3가지로 대별 될 수 있다.

- 1) 전동터보냉동기(또는 왕복동 냉동기) + 보일러(BC유, 경유, 도시가스)
 - 2) 흡수식 냉동기 + 보일러 또는 지역난방
 - 3) 직화식 흡수식 냉온수발생기 + 급탕용 보일러
- 이상과 같은 3가지 방식을 현실적으로 검토하면 사용에너지는

LNG와 전기로 볼 수 있다. 초기 투자비는 직화식 흡수냉온수 발생기가 터보냉동기 + 보일러 보다 다소 저가이거나 비슷하지만 에너지 비용은 직화식 흡수냉온수 발생기가 다소 저가이다.

표 3은 건물 냉난방 및 산업용 공조 시스템에 주로 사용되고 있는 냉동기 설비를 형식별로 분류하여 나타내었다.

표 3 냉동기 설비 분류

		형식	단위(USRT)	용도	
중기 압축 (기계식)	용적식 (고압 냉매)	왕복동식	소형 0.2~12USRT	냉동, 소규모냉방	
		고속다기통	11~160	냉동, PAC, 열펌프	
		회전식	로터리	2~160	냉장고, Room Aircon
			스크류		냉동, 열펌프
열이용	원심식	밀폐형	30~1,500	중,대규모 건물 냉방용	
		개방형	100~10,000	지역냉방, 터빈엔진 조합	
	흡수식	단효용	7~1,500	지역냉방, 태양열, 저압증기 이용	
		이중효용	110~1,500	가스, 증기, 중,대규모 건물 냉방	
		직화식 냉온수기	50~1,300	소,중규모 건물, 냉난방	

4. 결 론

이상과 같이 해양심층수의 저온, 항온성의 특성을 이용하여 에너지 활용 기술을 발전시키기 위하여 해양심층수를 이용한 냉난방, 급탕, 냉장/냉동창고에 대한 개념을 파악하였으며, 중기압축 냉동기, 터보 냉동기 및 흡수식 냉동기 등의 주요 에너지 기기 등을 서술하였다.

향후 해양심층수센터에 시험용 해양심층수 냉방시스템을 설계, 제작하고 성능시험을 수행하여 에너지 절약성 및 해양심층수 이용 냉난방시스템의 효율성을 입증하고자 한다.

부존자원이 절대적으로 부족한 우리나라에서는 해양심층수와 같이 활용가치가 무궁무진한 에너지 자원의 효율적인 활용

이 무엇보다 시급한 실정이다. 본 논문을 통해 언급한 이외의 여러 분야에서의 활용방안을 확대하여 빠른 시일 내에 에너지 강국으로서의 입지를 마련하여야 할 것이다.

후 기

본 연구는 해양수산부와 한국해양연구원의 지원으로 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- T.K.Leraand, J.C.Van Ryzin, "Air Conditioning Seawater: A cost-effective Alternative for West beach", Oahu, Hawaii
 J.V.Ryzin, T.K.Leraand (1992), "Air Conditioning with Deep Seawater : A Cost-Effective Alternative", Sea Technology.
 Laipis, A. I. and Bruttini, R.(1995), "Freeze drying of pharmaceutical crystalline and amorphous solutes in vials: Dynamic multi-dimensional models of the primary and secondary drying stages and quantitative features of the moving interface", Drying technol., 13, pp. 43-72.
 Van Zyl, A.(1988), "The application of freeze drying in chemical processing industry", ChemSa, pp. 182-184.
 Litchfield, R. J. and A. I. Liapis.(1982), "Optimal control of a freeze dryer". Chemical Engineering Science, 34(1): 45-55.

2005년 10월 일 원고 접수

2005년 월 일 최종 수정본 채택