

건물냉방시스템에 해양심층수 적용의 경제성 분석

김삼열*, 조 수**

*동의대학교 건축설비공학과(skim@deu.ac.kr), **에너지기술연구원(scho@kier.re.kr)

Economic Feasibility Assessment of a Deep Sea Water District Cooling System

Kim, Sam-uel* Cho, Sooi**

*Dept. of Building System Engineering, Donggeui University (skim@deu.ac.kr),

**Korea Institute of Energy Research (scho@kier.re.kr)

Abstract

Recently, alternative energy resources have emerged considerably due to the high oil prices and environment problems. Deep sea water that is one of the natural energy sources can be one of the attractive solutions to reduce the environment problems, and there are already a few examples in some developed countries. In this study, cooling system of deep sea water using heat exchangers of two hotels, located in near Haeundae Bay in Busan, have been analyzed on the quantity of electricity and gas use comparison between existing cooling system and deep seawater cooling system by using E-Quest simulation program. The results of the study showed that the Hotel A approximately saves 370 millions won per year, and the Hotel B saves 248 millions won per year. It means that the cooling system by using deep sea water has great worth to reduce the ratio of fuel sources.

Keywords : 해양 심층수(Deep Sea Water), 냉방(Cooling), 경제성분석(Economic Assessment)

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

지구온난화의 심각성에 대처하기 위한 기후변화협약 등의 환경과 관련된 급변하는 세계정세와 산업화의 확산으로 인한 에너지 자원의 고갈에 능동적으로 대처하기 위해서는, 현재 사용되고 있는 1차 에너지의 사용을 최

대한 줄이면서 최근 대두되고 있는 환경 친화적인 에너지 이용기술의 개발 및 도입이 요구된다.

최근에 고유가와 환경문제로 인해 대체 에너지에 대한 중요성이 대두되면서 미국, 일본, 캐나다 및 유럽의 몇몇 선진국에서는 이미 해양심층수를 이용한 대체에너지 사용의 연구가 한창 진행 중이거나 실용화단계에 있다.

투고일자 : 2009년 2월 2일, 심사일자 : 2009년 2월 20일, 게재확정일자 : 2009년 4월 13일
교신저자 : 김삼열(skim@deu.ac.kr)

우리나라에서도 최근에 해양심층수의 대체 에너지로의 활용 연구와 적용사례가 증가하는 추세이다. 이러한 점에서 볼 때 해양 심층수의 특징 중의 한 가지인 저온특성을 이용한 냉방의 활용은 충분한 경제성과 가치성이 있다고 생각된다.

이 논문에서는 해양심층수의 저온을 이용한 에너지 이용방식에 대하여 알아보고 기존의 화석연료를 이용한 건물에 적용시켜 두 시스템의 경제성을 비교·분석하여 해양심층수의 적용 가능성을 알아보고자 한다.

1.2 연구의 방법

본 연구에서는 해양심층수의 기초적인 지식과 특징에 관하여 알아본 다음 해외의 해양심층수 이용 사례를 조사하여 연구방법의 기초적인 이론을 수립, 분석하고, 분석한 자료를 토대로 해양심층수를 이용한 에너지 방식을 국내의 기존 건물에 적용시키기 위해 심층수 취수 가능 지역의 건축물을 선정하여 냉방 시스템의 현황을 조사하였다.

조사한 자료를 바탕으로 E-quest 프로그램을 사용하여 각각의 시스템 적용 시 에너지 사용량을 비교하여 기존 에너지 사용량과의 경제성을 분석 하고자 한다.

2. 해양심층수의 자원성

2.1 해양심층수의 자원적 특성

해양심층수란 태양광이 도달하지 않는 수심 200m 이상의 깊은 곳에 존재하는 바닷물로써, 태양열, 풍력 등의 자연 에너지와 마찬가지로 자원으로서 저밀도·저농도이며 그 양은 막대하여 다양한 자원적 가치를 보유하고 있다.

따라서 해양심층수는 이제까지 우리들이 대상으로 해왔던 화석연료나 광물 등의

비 재생형인 고밀도 자원과는 다르다. 또 에너지 면에서의 자원성과 영양물질 등 물질 면에서도 자원성을 갖고 있을 뿐 아니라 청정성(안정성도 포함)과 안정성 등의 다양한 이용가치를 갖고 있어 지금까지의 풍력, 지열 등의 자연 에너지 자원과도 다르다.

저밀도 자원을 효과적으로 이용하기 위하여 「저밀도 에너지의 교환」이나 「저농도 물질의 회수」의 기술이 중요하게 부상하고 있다. 예를 들면, 식물의 광합성 작용과 같은 기술이 여기에 속한다. 즉, 저밀도 태양에너지나 저농도 영양염을 유용한 에너지나 탄수화물, 단백질 등의 물질로 교환할 수 있는 기술이다. 그러나 우리들은 과학적 지식은 갖고 있지만 기술로서는 아직 완성되지 않은 상태이다. 지금까지 고밀도 자원을 위해 개발하여 보유한 기술을 저밀도 자원에 적용하여 이용기술을 구축해 나가는 것이 우리 사회에 필요한 시점이다.

해양심층수의 이용은 그 다양한 자원성에서 「소규모」로는 식물 플랑크톤 배양에서부터 「대규모」로는 전력발전 단계까지 폭 넓은 가능성을 기대할 수 있다. 그리고 그 자원성을 생각하면 이제까지의 고밀도 자원을 기본으로 하는 대규모·집약형의 이용 기술과는 다른 소규모·분석형의 이용기술을 시스템화 하면서 네트워크를 구축해 실용화해 나가는 방법이 효과적인 접근이라 할 수 있다

2.2 해양심층수를 이용한 냉방

해양심층수의 특성중의 하나인 저수온을 이용한 냉방은 자연에너지 활용의 한 수단으로써 평가되고 있다. 1980년대 중반에 하와이 주립 자연에너지 연구소에서 시작되었다. 이방법의 사용으로 전력 소비량이 상당히 낮아진 것으로 알려져 있다.

심층수는 취수지역이나 심도, 취수온도에

따라 이용되는 방식에 직접이용방식과 간접이용방식이 있으며, 직접이용방식은 열교환기를 통하여 냉방에 직접적으로 이용되는 방식이며, 심층수의 취수온도가 10~15℃이하에서 가능하며, 간접이용방식은 히트펌프를 이용하여 20℃까지의 수온으로도 냉방이 가능한 방식이다.

심층수는 해저 200m 이상 되는 곳의 바닷물을 끌어와서 사용하는 것이기 때문에 별도의 취수방법이 필요하다. 그리고 취수입지에 대한 조건도 까다로운 편이다. 취수방법은 선상방식, 해상방식, 수로방식 등이 있으며 입지에 따라 선택할 수 있다.(이용학, 2007)

전통적인 해양심층수 냉방시스템(SWAC, Sea Water Air Conditioning System)은 매우 간단하다. 찬 해수가 바다의 바닥으로부터 펌프되어 올라온다. 이 찬 해수가 열교환기를 통과하여 건물을 순환하는 냉각수를 차게 만든다. 기본적인 요소들은 다음과 같다.

- 파이프, 펌프, 회수파이프를 포함하는 해수 공급 시스템
- 펌프를 포함하는 폐쇄회로 신선물 순환 네트워크. 이 네트워크는 각 건물들을 순환하는 냉수를 공급한다.
- 순환수로부터 해수공급 루프에 열을 전달하는 열교환기

SWAC는 많은 양의 냉방요구가 있고 깊고 찬 물에 접근이 용이한 해안가 개발에 적절하다. SWAC 시스템의 경제성에 영향을 주는 주요 요소들은 다음과 같다.

- 40-45F 범위의 차가운 물까지의 거리
- 냉방부하의 크기
- 냉방 시스템의 percent utilization
- 지역의 전기요금
- 해안의 분배시스템의 크기

그 외 SWAC 시스템의 디자인, 경제성, 성공에 영향을 주는 요소들은 다음과 같다.

- Local seafloor bathymetry

- 파도와 폭풍 데이터
- 지역 기후
- 기존 vs 신축 건물
- 환경적인 요구
- 해수의 부차적인 사용

3. 국내·외 심층수 이용 사례

3.1 해외 심층수 이용 냉방 사례

스웨덴은 SWAC(Seawater Air Conditioning)의 선구자이다. 현재 스웨덴의 스톡홀름 시에는 80,000tons 이상의 호수/해수 냉방 시설이 있다. Jonkoping, Upplands Basby, Solna, Sollentuna and Sodertalje 같은 여러개의 다른 도시에서 15,000 ton 가량의 SWAC 시스템을 가지고 있다.

캐나다에서는 최근에 토론토 시에서는 Ontario 호수의 물을 이용한 Enwave Deep Lake Cooling project가 완성되어 2004년 8월부터 공급되고 있다. 이 시스템은 지역냉방과 도시상수도 공급을 같이 해결하며, 58,000ton 규모로 되어 있다. 차고 차가운 호수물이 3개의 63인치(1.6미터)의 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 파이프에 의해 운반되어진다.

미국의 코넬대학에서는 근처에 있는 Cayuga Lake의 저온을 이용한 호수냉방을 선택하고 있다. 코넬 대학이 호수 냉방을 선택한 이유는 다음과 같으며 1994년에 연구가 시작되어 2000년에 시공되어 현재까지 연간 약 \$2million 이상의 에너지 사용료 절약이 이루어지고 있다.

- CFCs 발생이 없는 것
- 재생에너지
- 에너지 효율성 : 80%의 에너지 절약
- 화석연료에 대한 의존도 감소 : 공기오염, 산성비, 지구온난화 영향 감소
- 장기적으로 경제성 - 냉각기의 수명 2배, 에너지 비용 절감

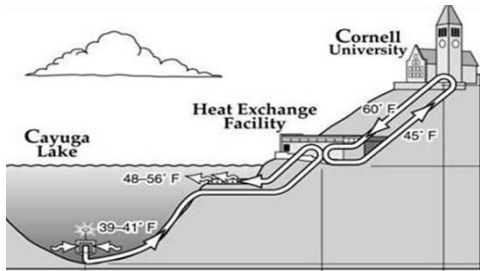


그림 1. 미국 코넬대학의 호수이용 냉방 프로세스

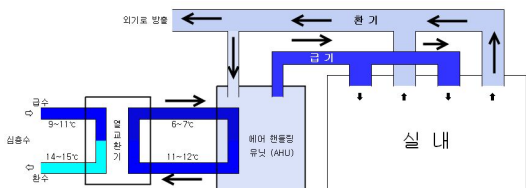


그림 2. 오키나와현 해양심층수 연구소의 냉방시스템

일본에서는 이미 심층수를 이용한 냉방 시스템 도입이 실용화 되어있는 상태이다. 한 예로써 일본 오키나와현 해양심층수 연구소와 무로토시 아쿠아 팜 건물은 심층수를 직접이용방식에 의한 냉방시스템을 사용하는 건물로써 깊이 600m에서 취수한 9~11°C 정도의 심층수를 사용하여 플레이트식 열교환기로 담수와 열교환을 하고, 이것을 에어핸들링 유닛(AHU)를 매개로 하여 송풍하는 방식으로 연구동 본관을 냉방하고 있다.

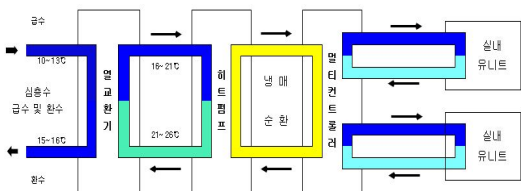


그림 3. 무로토시 아쿠아 팜 건물의 냉방시스템

여기서 사용된 직접 이용방식은 열원기기를 사용하지 않기 때문에 2차측 공조기의 물이나 공기의 반송 동력을 제외하면 냉방을 위해 필요한 동력은 심층수를 공급하는 동력

뿐이므로 공조용 열원기로서 현재 널리 사용되고 있는 공기 열원식 히트펌프(에어컨)에 비해 40~80%정도의 대폭적인 에너지 절감 효과를 얻을 수 있다고 한다.

3.3 국내 심층수 이용현황

현재 국내에서는 심층수의 유기물이나 병원균 등이 거의 없는 특징을 이용하여 연구 및 개발을 하고 제품을 생산하여 판매 하고 있지만, 저수온의 특성을 이용한 냉방시스템을 가동하는 건물은 없는 실정이다. 하지만 최근에 강원도 고성 '해양심층수 연구센터'에서는 심층수를 이용한 냉방시스템의 방식을 적용시키기 위한 건물을 계획 중이며, 취수관은 설치가 완료 되었다고 한다.

4. 대상건물 평가

4.1 대상건물의 개요

해양심층수를 이용한 냉방시스템의 경제성을 분석하기 위해서 심층수 취수 가능지역으로 부산 해운대 해안 지역을 선정하여 해안가 근처의 두 개의 호텔 건물을 모델로 하여 경제성 평가를 도출하고자 한다. 두 호텔 대상건물의 개요 및 전경은 표1과 그림4에 나타나 있다.

표 1. 대상건물의 개요

구분	건물 A	건물 B
주소	부산광역시 해운대구 우동	부산광역시 해운대구 중동
대지면적	11,654 (m ²)	5,772(m ²)
연면적	102,318.96 (m ²)	53,147(m ²)
규모	지하 6, 지상 22층	지하 6, 지상 17층
객실 수	321실	528실



대상건물 A

대상건물 B

그림 4. 대상건물의 전경

4.2 경제성 분석 Simulation

대상건물의 경제성을 분석하기 위한 프로그램으로 E-Quest를 사용하였다. E-Quest는 DOE-2 프로그램에서 마법사 기능과 그래픽 기능을 부가시킨 프로그램으로써, DOE-2 프로그램을 엔진으로 함으로써 DOE-2의 장점은 그대로 살리면서 기존 프로그램의 문제점이던 그래픽 부분과 수치 입력방식을 윈도우 프로그램으로 개선시켜 좀 더 손쉽게 프로그래밍 할 수 있게 되어 있다.

표 2는 국토해양부에서 제공하는 수온데이터를 이용한 것으로 시뮬레이션 평가시 적용된 수온의 분포를 나타낸 것이다. 이는 수심 50m의 위치에서 측정된 데이터이다.

그림 5~그림 8은 대상건물 A와 B의 기존 전기사용량 및 심층수 이용 시의 전기사용량을 나타낸 것이다. 이들은 E-quest 프로그램을 사용하여 대상건물의 전기 사용량을 계산한 값을 그래프로 나타낸 것이다. 그림 5에서 대상건물 A에 사용된 냉방기기는 터보형 냉동기 1기와 흡수식 냉동기 3기가 사용되고 있는데 위 그래프에서 나타난 [Space Cool] 부분은 터보형 냉동기가 사용되어진 부분이다. 그리고 [Pump & Aux] 부분은 냉수·냉각수 펌프에 사용 되어진 전기 사용량을 말한다.

표 2. 해양심층수의 수온분포

측정시기		수온(°C)
2003년	2월	13.62
	4월	14.36
	6월	13.81
	8월	15.79
	10월	19.26
	12월	13.62
2004년	2월	14.41
	4월	14.89
	6월	14.48
	8월	18.01
	10월	20.39
	12월	20.32

그림 6은 대상건물 A에 흡수식 냉방기 대

신 심층수 냉방방식을 적용시켰을 경우에 대한 전기 사용량을 그래프로 나타낸 것으로, 그림 5와 비교해 보게 되면 다른 부분은 변화가 없지만, 냉수·냉각수 펌프에 관한 전기 사용량이 $0.99 \times 10^6 \text{kWh}$ 에서 $1.18 \times 10^6 \text{kWh}$ 로 상승한 것을 알 수 있다. 흡수식 냉동기 사용시 보다 펌프의 용량이 더 커진 것을 알 수 있다. 즉, 사용증가량은 $190 \times 10^3 \text{kWh}$ 이다.

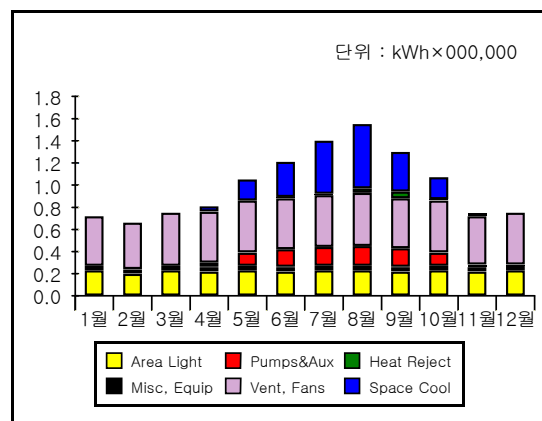


그림 5. 대상건물A의 기존 전기 사용량

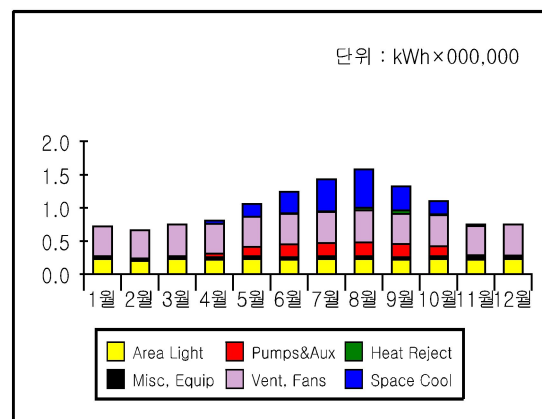


그림 6. 대상건물A의 심층수 적용 시 전기 사용량

그림 7은 대상건물 B의 기존의 전기 사용량을 E-quest 프로그램을 사용하여 계산한 값이며, 그림 8은 심층수 적용 시의 전기 사용량을 나타내고 있다. 그림 7과 그림 8에서 보아 알 수 있듯이 이 건물 또한 다른 사항은

변화가 없지만 냉수·냉각수 펌프의 전기 사용량만 $509.2 \times 10^3 \text{kWh}$ 에서 $553.4 \times 10^3 \text{kWh}$ 로 전기 사용량이 증가한 것을 알 수 있다. 즉 사용 증가량은 $44.2 \times 10^3 \text{kWh}$ 이다.

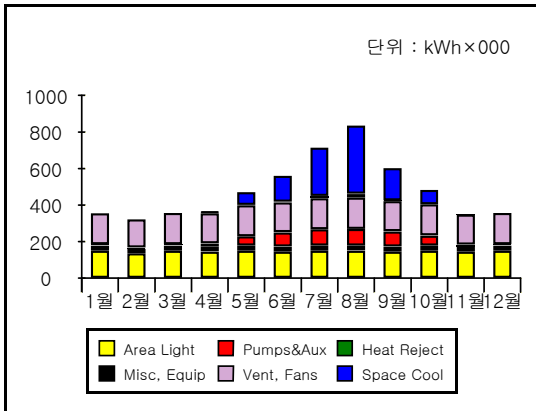


그림 7. 기존건물B의 기존 전기 사용량

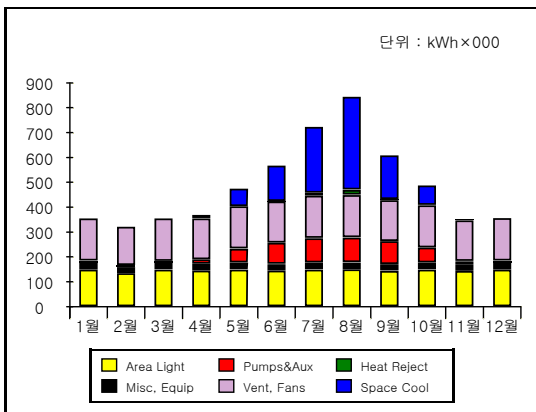


그림 8. 기존건물B의 심층수 적용 시 전기 사용량

그림 9는 대상건물 A의 가스사용량을 그래프로 나타낸 것이다. 그림 10은 심층수를 적용 시켰을 경우의 가스사용량을 나타낸 것이며, 두 그래프의 [Space Cool] 부분에서 차이가 나게 된다.

기존 가스 사용량과 심층수 적용 시의 가스 사용량에서의 차이점은 흡수식 냉동기가 하는 역할을 심층수 냉방방식으로 하기 때문에 흡수식 냉동기에 소모되는 가스사용량 만큼이

빠지게 된다. 위의 표에서 나타난 것처럼 연간 약 $5,957,280 \times 10^3 \text{kcal/h}$ 의 차이가 나게 된다.

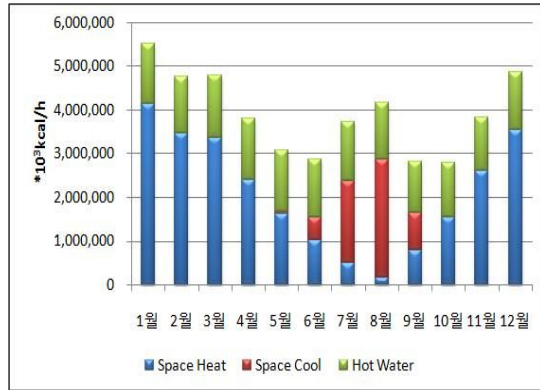


그림 9. 대상건물 A의 기존 가스 사용량

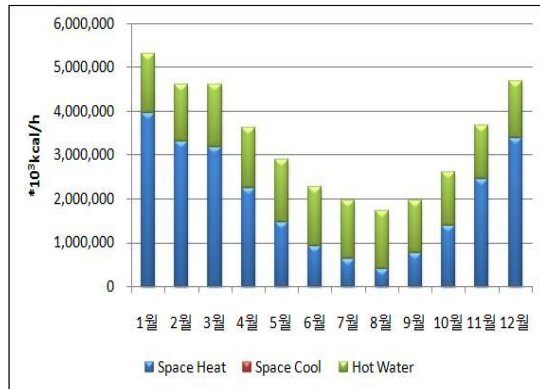


그림 10. 대상건물 A의 심층수 적용시 가스 사용량

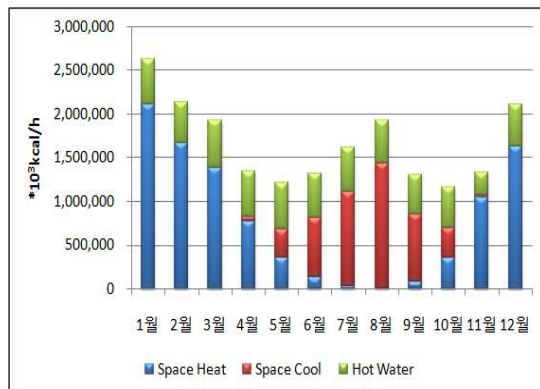


그림 11. 대상건물 B의 기존 가스 사용량

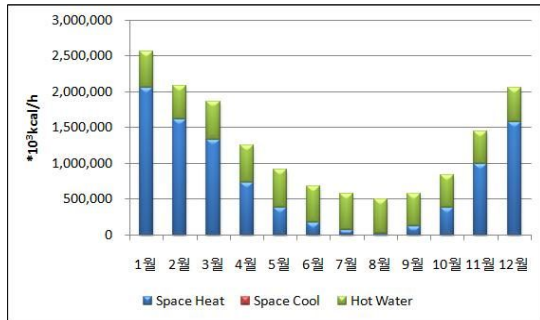


그림 12. 대상건물 B의 심층수 적용시 가스 사용량

그림 11은 대상건물 B의 기존 가스 사용량을 나타낸 것이고 그림 12는 심층수 적용 시 산출되는 가스 사용량을 나타낸 것인데 이 대상건물 또한 냉방에 사용되는 가스 사용량의 변동이 있는 것을 알 수 있다.

대상건물 B의 기존 가스 사용량과 심층수 적용 시 가스 사용량을 비교해 보면 냉방부에서 $4,684,680 \times 10^3 \text{ kcal/h}$ 의 에너지 절약이 생기게 된다.

4.3 각 건물의 에너지 절약량 산출

위에서 나타낸 에너지 절약량은 각 건물에 심층수를 적용해서 감소된 가스 사용량에서 증가된 전기 사용량을 열량으로 환산하여 그 차이를 나타낸 것이다.

즉 [에너지 절약량 = 감소된 가스 사용량 - 증가된 전기 사용량]으로 나타낼 수 있다.

1[kWh]는 kcal로 나타내면 859.8[kcal]로 나타낼 수 있다. 그리고 가스 1[m³]는 10,500[kcal]로 나타낼 수 있는데 가스 1[m³]의 가격은 대한 도시가스에서 공급하는 산업용 가스의 요금인 550[원]을 적용하였다.

위의 조건으로 대상건물 A의 에너지 절약량을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$8,222 \times 10^3 - 190 \times 10^3 = 8,032 \times 10^3 [\text{kWh}]$$

$$\frac{8,032 \times 10^3 \times 859.8 \times 550}{10,500} = 361,738,331.4 [\text{원}]$$

즉, 대상건물 A는 현재의 냉방시스템을 심층수 냉방시스템으로 교체할 경우 연간 약 3억 6천만원의 에너지 절약이 있다는 것을 알 수 있다.

다음은 대상건물 B의 에너지 절약량이다.

$$5,562 \times 10^3 - 44.2 \times 10^3 = 5,517.8 \times 10^3 [\text{kWh}]$$

$$\frac{5,517.8 \times 10^3 \times 859.8 \times 550}{10,500} = 248,505,946.9 [\text{원}]$$

위의 계산에 따라 대상건물 B는 심층수 냉방시스템 적용 시 연간 약 2억 5천만원의 에너지 절약이 있었다.

6. 결 론

위의 두 건물을 대상으로 한 모의실험에서 흡수식 냉동기 대신에 심층수를 이용한 냉방시스템을 도입 하였을 경우 일정량의 에너지를 절약 할 수 있다는 사실을 알 수 있었다. 현재 심층수를 이용한 냉방 시스템 도입 시 필요한 초기 투자비를 정확히 알 수는 없다. 하지만 일정 기간이 지난 후에는 초기 투자비를 회수 할 수 있음을 본 시뮬레이션실험을 통해 증명할 수 있었다. 그리고 한 건물에 적용하였을 경우에는 에너지 절약을 기대하기 힘들지만, 열병합 발전 설비처럼 많은 건물에 적용하게 된다면 더 많은 에너지 절약을 기대할 수 있다.

심층수를 이용한 냉방시스템의 특성 중의 하나로써 취수를 이용한 펌프설비만 용량에 맞게 갖추어 설치하게 되면 한 건물에 적용시키기 위해 취수관을 설치할 때와 여러 건물에 적용시키기 위해 취수관을 설치할 경우 투자비의 차이는 크지 않다. 이는 분기관을 설치하는 것으로 다른 건물에서 심층수를 이용할 수 있기 때문이다. 또한 무한한 바다자원을 이용하기 때문에 취수와 건물공급에 필

요한 전력만 있으면 특별히 에너지를 위한 비용 소모는 없다.

신·재생 에너지 중의 하나인 태양열을 이용한 시스템을 도입할 경우나, 열병합 발전 설비를 설치 할 경우 국가에서 지원금이 나와 그 시스템을 이용하는 사업자에게 초기 투자비에 대한 부담을 줄여 주는 방법이 적용되고 있다. 이처럼 해양 심층수를 이용하여 냉방을 할 경우에도 국가의 지원금이 있게 된다면 사업자들의 투자비에 대한 부담이 더욱 줄게 되어 투자비 회수기간은 더욱 짧아지게 된다.

하지만 해양 심층수 냉방에 있어서는 취수 위치에 대한 제약이 따른다. 그러나 우리나라의 삼면이 바다인 특성을 잘 이용하면 이러한 제약도 어느 정도 해결 될 것이라고 본다.

현재 우리나라에서는 해양 심층수에 대한 냉방기술의 개발 및 연구가 미흡한 상태이다. 앞으로 많은 기술의 발전이 있게 되어 심층수를 이용한 냉방이 많은 건물에 적용이 된다면 많은 에너지 자원의 절약이 가능하고, 무한한 에너지 자원인 만큼 비용의 절약도 기대할 수 있다.

후 기

이 논문은 2005학년도 동의대학교 연구년 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. 中島敏光, 해양심층수의 개발 및 이용, 도서출판 신기술, 2005.
2. Makai ocean engineering, inc, "A technical and economic feasibility assessment of a deep sea water district cooling system at Tomon bay, Gaum", 2006
3. 후치타 다이스케, 다카하시 마사유키, 해양심층수 이용학 : 기초에서 응용·실무까지,

- 북미디어, 2007
4. 나카가와 카즈히로, 생명의 물 해양심층수, 아진, 2005
5. 이진성, 조 수, 손장열, 건물 냉방에너지원 활용을 위한 심층수 특성 분석, 한국생활환경학회지 제15권 3호, pp462-371 (2008)
6. 박진영, 김삼열, 정경식, 남민식, 해양심층수를 이용한 냉방시스템의 경제성 비교분석, 대한설비공학회 2008 하계학술발표대회논문집 pp1279-1284 (2008)
7. Project planning phase tutorial, "Lake source cooling at cornell university", 2001
8. Ferraro Choi And Associates, "Hawaii Gateway Energy Center", Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority (NELHA), 2007
9. 해양심층수연구소와 웰빙동아리, <http://cafe.naver.com/dswstudy.cafe>
10. http://www.kadowa.com/kadowa/dowa_plan.asp