

해수 냉방시스템의 빙상경기장 적용 방안 및 LCC 분석

박진영*, 김삼열**, 이호생***, 김현주****

*동의대학교 대학원 건축공학과(icdie00@naver.com), **동의대학교 건축설비공학과(skim@deu.ac.kr),
한국해양과학기술연구원(hoslee@kiost.ac), *한국해양과학기술연구원(hyeonju@kiost.ac)

Application and Life Cycle Cost Analysis for Ice-rink using Seawater Heat Source Cooling System

Park, Jin-Young*, Kim, Sam-Uel**, Lee, Ho-Saeng***, Kim, Hyeon-Ju****

*Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Dongeui University(icdie00@naver.com),
**Dept. of Building System Eng., Dongeui University(skim@deu.ac.kr),
***Korea Institute of Ocean Science & Technology(hoslee@kiost.ac)
****Korea Institute of Ocean Science & Technology(hyeonju@kiost.ac)

Abstract

On a plan for the Winter Olympics 2018, Korean government is in the process of the world's first use of ocean energy for the Olympic ice-rink. This technology will be applied to a seaside town and have possibility of an export industry.

In this study, we researched facilities and system for P ice-rink that acts as a cultural center as well as a physical plant in Busan and provided the way that apply by seawater heat source. Also, existing system and seawater heat source system of P ice-rink was analyzed by the most commonly used life cycle cost analysis among economics methods. Such economics data for ice-rink using seawater will be utilized by a basic information.

Keywords : 빙상경기장(Ice-rink), 해수열원(Seawater heat source), 경제성(Life cycle cost), 적용방안(Application), 신재생에너지(Renewable energy)

1. 서 론

화석연료의 고갈 및 기후변화로 인하여 신 재생에너지에 대한 관심이 증가되고 있다. 그 중 해양에너지는 그 보존량이 방대하고 조력,

파력, 온도차에너지 등 다양한 방법으로 이용이 가능하며, 일본, 미국, 캐나다, 유럽과 같은 선진국에서는 해양에너지에 대한 기술개발이 지속적으로 이루어지고 있다.

우리나라는 3면이 바다로 둘러싸여 있어

해양에너지를 적용할 수 있는 가능성이 크다. 또한 국토해양부에서는 세계최초로 2018년 평창 동계올림픽의 빙상경기장에 해양심층수의 저온성을 활용하여 저탄소 환경올림픽을 조성하고자 하는 방안을 추진 중이며, 이를 통하여 기존 시스템에 비하여 에너지 절약 및 이산화탄소 배출 감소 효과를 기대하고 있다. 또한 해수 열원 올림픽 빙상경기장 조성과 더불어 강릉, 울산, 제주 등의 해안 도시에 해수 기술을 적용시키고 향후 수출 전략 사업으로도 육성 가능할 것이다.

본 연구에서는 빙상경기장의 해수 열원 적용 방안을 알아보기 위하여 부산의 빙상경기장을 선정하여 기존의 설비시스템을 분석하고 이를 통하여 해수 열원을 적용할 수 있는 방안을 마련하고자 한다. 또한 LCC(Life Cycle Cost) 분석법을 사용하여 빙상경기장의 기존 설비시스템과 해수 열원 시스템을 비교함으로써 추후 해수 열원 빙상경기장에 대한 기초 자료로써 활용하고자 한다.

2. 빙상경기장에 대한 고찰

2.1 빙상경기장의 일반사항

국내 빙상경기장은 1960년대 처음으로 동대문 실내 스케이트장이 개장된 이후 도시를 중심으로 계속해서 보급되고 있으며, 최근 피겨선수인 김연아 선수의 활약으로 인한 사람들의 관심 증대로 빙상경기장에 대한 수요가 늘고 있다.

빙상경기장은 설치장소에 따라 실내링크와 실외링크로 구분되며, 사용용도에 따라 스피드 스케이팅, 쇼트트랙, 아이스하키, 커얼링 및 레저 용도로 나뉜다. 또한 제빙방식, 빙상경기장의 바닥구조, 냉각관의 형상에 따라 구분된다. 빙상경기장의 각 용도에 따라 경기장의 표준규격 및 빙면의 질과 얼음온도가 달라지므로 설계시 주의하여야 한다.

Table. 1은 국내 빙상경기장의 현황을 나타낸 것으로써, 제빙방식은 초기에 건설된 목동 빙상경기장을 제외하고는 대부분 간접방식

(브라인) 방식으로 설계되었다. 또한 냉동기 방식은 대부분 왕복동식이 적용되었으며, 냉매는 R-22가 가장 많이 사용되었다. 빙면 형식은 대부분 영구형으로 적용하였다.

Table. 1 Present condition of domestic ice-rink

Ice-rink	Ice making	Refrigerator	Floor type
Mokdong	Direct	Reciprocating	Permanent type
Daegu	Indirect	Reciprocating	Permanent type
Kukdong	Indirect	Reciprocating	Permanent type
Bundang	Indirect	Reciprocating	Four flooring
Songam	Indirect	Reciprocating	Permanent type
Taereung	Indirect	Reciprocating	Permanent type
Daegu	Indirect	Reciprocating	Open type
Jeonju	Indirect	Reciprocating	Permanent type
Gwangju	Indirect	Screw	Open type

빙상경기장의 에너지는 경기장 얼음의 냉각, 냉난방, 조명 등에 사용되며, 그에 대한 비율은 Fig. 1과 같다. 일반적으로 빙상경기장의 에너지 소비는 냉각 및 냉난방이 많은 비중을 차지한다.

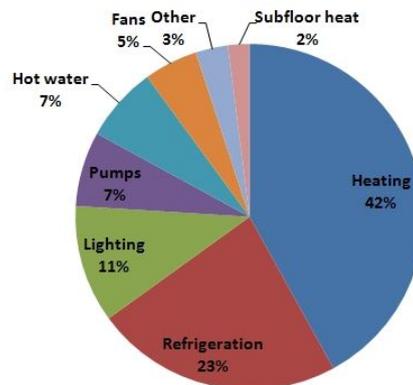


Fig. 1 Energy use in an ice rink

빙상경기장에서 공조시스템이 차지하는 비율이 높기 때문에 에너지를 절약하기 위하여 냉난방 시 적정 온도설정, 열회수장치의 설치, 최적의 얼음두께, 에너지 효율적인 유지관리 방법 등 다양한 방법들이 적용되고 있다. 이와 더불어 기존 냉동기 위주의 공조시스템에 해수열원을 통한 열교환기, 히프펌프가 도입된다면 에너지 비용 및 탄소배출량 절감에 기여할 수 있다.

2.2 빙상경기장의 설비시스템

빙상경기장의 냉각방식은 냉매 직접팽창 냉각방식, 간접 냉각 방식으로 분류하고 직접 팽창 냉각방식은 냉매를 직접적으로 링크 냉각관에 순환시켜서 직접 팽창으로 냉각하는 방식이며, 간접 냉각방식은 브라인 냉각기에 의하여 냉각된 브라인을 링크 냉각관에 순환시켜서 냉각하는 방식이다. 최근에는 환경문제와 경제성을 고려하여 간접 냉각방식인 브라인 방식을 가장 많이 적용하고 있다.

빙상경기장은 링크와 관람석으로 나뉘며, 사무실, 관리실과 같은 부대시설의 사용특성을 고려하여 공조방식이 도입되어야 한다. 이에 공조방식은 크게 정풍량 단일덕트 방식, 정풍량 단일덕트 및 컨벡터 방식, 정풍량 단일덕트 및 팬코일유닛 방식으로 구분된다. 기본적으로 정풍량 단일덕트를 통하여 건물 부하를 처리하며, 필요에 따라 컨벡터나 팬코일유닛을 설치하도록 한다.

2.3 해수열원 적용방안

해양에너지 중 열에너지원인 해양심층수는 일반적으로 태양광이 도달하지 않는 수심 200m 이하의 해수로 정의된다. 해양심층수는 연평균 4°C의 저온성을 가지고 이를 이용하여 공조시스템의 냉각열원, 저온 저장 등에 이용되어지고 있다.

해양심층수는 Fig. 2와 같이 빙상경기장의 빙면 냉각 및 건물 냉난방에 적용할 수 있다. 해양심층수의 저온성을 이용하여 열교환을

통하여 각 부하처에 공급이 가능하다. 기존 냉동기 시스템에 비하여 친환경적이며, 에너지비용이 절약될 수 있다.

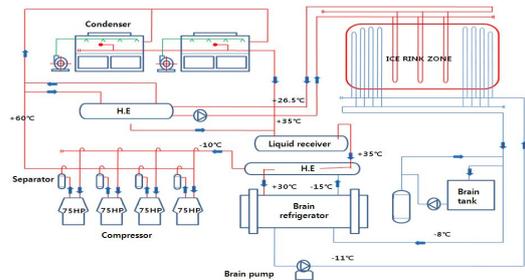


Fig. 2 Application of seawater heat source in a ice rink air-conditioning system

빙상경기장에 브라인 냉각방식을 적용할 경우, 빙면은 Fig. 3과 같이 구성된다. 이때 각 부분의 온도분포는 얼음 -4~-3°C, 빙면층 냉각코일 -8~-10°C, 하부층의 코일은 4°C이다.

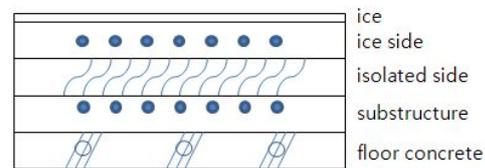


Fig. 3 Floor structure in a ice rink

온도 분포를 고려하여 해수열원을 적용할 수 있는 부분은 빙면층 냉각코일과 하부층 코일이다. 해양심층수의 경우 연평균 2~4°C를 유지하기 때문에 하부층 코일에 직접적인 사용이 가능하며, 냉각코일의 경우에도 1차측 열교환시 냉매로써 간접 사용이 가능하다.

3. 경제성 평가

3.1 대상건물의 개요 및 대안선정

본 연구에서 해수열원 시스템에 대한 경제성 평가를 위하여 선정한 건물은 부산시 북구에 위치한 P 빙상센터이다. P 빙상장은 문화회관

과 아이스링크장을 겸용으로 사용하고 있는 시설로써 지하 1층, 지상 2층으로 이루어져 있다.

해양심층수를 대상건물에 적용하기 위하여 첫 번째로 빙상경기장의 빙면을 냉각시키기 위하여 열교환을 하였으며, 경기장 내부를 냉방시키기 위하여 한번 더 열교환을 한 후 배출되는 방식을 선정하였다. 대안을 바탕으로 선정된 장비는 Table. 2와 같다.

Table. 2 Selection of equipment for each system

	Equipment	Cooling (kcal/hr)	Heating (kcal/hr)
Existing	Heater /Chiller	181,440	190,800
	Cooling tower	332,000	-
	Refrigerator	470,080	-
Sea-water	Boiler	-	190,800
	H.E (cooling)	181,440	-
	H.E (ice making)	112,880	-
	Reciprocating refrigerator	365,200	-
Intake pump	Cooling	48m ³ /h	
	Ice making	28m ³ /h	

해양심층수를 취수하는 방법에는 직접 취수 방식과 간접 취수방식이 있으며, 본 연구에서는 직접 취수방식을 선정하였다. 직접 취수방식은 바다에 고밀도 폴리에틸렌 파이프를 연결하여 해양심층수를 직접 펌프로 끌어올려 열원으로 사용하는 방식이다. 국립기상 연구소의 수온분포도를 바탕으로 하여 빙상경기장과 해양심층수의 거리는 4km로 나타났으며, 해표면 200m 아래 지점에서 취수하는 것으로 설정하였다.

3.2 경제성 분석

경제성을 평가하는 많은 방법 중 본 연구에서 LCC(Life cycle cost) 분석법을 사용하였다. LCC는 분석개시 시점부터 a년 후 초기 투자비의 현재가치와 분석개시 시점에서 b년

후 발생기기의 에너지 비용 및 운전비용과 같은 반복비용의 현재가치 그리고 잔존가치를 고려한 것이다. 즉 LCC는 식 (1)~(4)와 같이 초기투자비용(IC), 에너지비용(EC), 유지관리비용(OM), 잔존가치(RV), 할인율(i) 및 물가상승률(e)에 의해 산정된다.

$$IC = F \times \left(\frac{1+e}{1+i} \right)^{(m-1)} \dots\dots\dots \text{식 (1)}$$

$$OE = E \times \left(\frac{1+e}{1+i} \right)^{(k-1)} \dots\dots\dots \text{식 (2)}$$

$$RV = R \times \left(\frac{1+e}{1+i} \right)^{(k-1)} \dots\dots\dots \text{식 (3)}$$

$$LCC = IC + \sum_{k=1}^n (OE_{EC,k} + OE_{OM,k}) + RV \dots\dots \text{식 (4)}$$

분석일자는 2011년을 기준으로 하였으며, 초기투자비용은 현재 가격으로 하는 것을 원칙으로 하였으며, 건물의 실제 공사비를 기본으로 하였다. 정기적인 운영비에 포함되는 인건비, 수리비, 점검비, 일반관리비 등은 데이터가 충분하지 않아 건설비용의 7%로 산정하였다. 또한 에너지 비용은 대상건물의 2011년 실제 데이터를 기준으로 하였으며, 시설물의 잔존가치는 기대수명으로 초기투자비가 균등 분할하여 소멸되며 수명이 다하면 잔존가치가 0이 된다고 가정하였다.

그리고 LCC 분석의 전제 조건으로써 최근 30년간의 데이터를 분석하여 할인율(이자율)은 5%, 물가상승률은 6%로 설정하였으며, 내용연수는 각 설비에 대한 자료를 분석하여 선정하였다. 또한 각 에너지에 대한 상승률은 전기요금이 최근 몇 년간에 걸쳐 평균 2% 정도의 상승률을 보이고, LNG 가격은 난방용이 연평균 2%, 냉방용이 연평균 2% 내외의 상승률을 보여 이를 고려하여 에너지에 대한 상승률은 3%로 설정하였다.

LCC 분석결과는 Table. 3과 같으며, ‘신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법’에 의하여 초기투자비의 50%를 해수열원 시스템의 정부지원금으로 산정하였다. E는 기존 시

시스템, S는 해수열원 시스템을 뜻하며, 기존 시스템에 비하여 해수열원 시스템의 에너지 및 유지관리 비용에서 많은 절감이 나타났다.

Table. 3 LCC Analysis (unit : 1,000won)

		Initial cost	Energy cost	Management cost	Disuse cost	Total
LCC 5	E	337,234	981,500	120,301	175,133	1,614,168
	S	389,597	761,793	147,127	293,000	1,591,517
LCC 10	E	337,234	2,010,640	246,442	183,633	2,777,949
	S	389,597	1,560,559	292,854	307,220	2,550,230
LCC 15	E	337,234	3,089,729	378,704	192,545	3,998,212
	S	389,597	2,398,093	445,653	322,131	3,555,474
LCC 20	E	337,234	4,221,192	517,386	201,891	5,277,703
	S	389,597	3,276,277	605,869	337,766	4,609,509

기존 시스템과 해수열원 시스템에 대한 LCC 분석의 결과 회수기간은 약 4.5년으로 나타났으며, 이 후 차감액만큼의 비용이 절감되는 것으로 나타났다. Fig. 4는 경제성 분석

결과를 그래프로 나타낸 것이다.



Fig. 4 LCC analysis for each system

또한 LCC 분석에 대한 정확도를 높이기 위하여 민감도 분석을 수행하였다. 이자율을 기존 5%에서 2.5%와 4.5%로 감소시켰을 경우, 물가상승률을 기존 6%에서 7%와 9%로 증가시킨 경우, 정부지원금을 기존 50%에서 20%와 30%로 감소시킨 경우의 민감도 분석을 분석하였다. Table. 4는 민감도 분석을 한 결과를 나타낸 것으로 정부 지원금을 20%로 감소시켰을 경우 LCC 절감비율이 약 7.8%로 가장 적게 나타났고 물가상승률을 9%로 하였을 경우 LCC 절감비율이 가장 큰 것으로 나타났다.

Table 4. Sensitivity analysis for LCC (unit : 1,000won)

		Interest rate		Inflation rate		Government aid rate	
		2.5%	4.5%	7%	9%	20%	30%
LCC5	Existing	1,687,491	1,628,238	1,642,057	1,699,625	1,614,168	1,614,168
	Seawater	1,666,622	1,605,908	1,620,051	1,679,076	1,726,316	1,681,422
	Rate	1.2%	1.4%	1.3%	1.2%	-6.9%	-4.2%
LCC10	Existing	3,091,721	2,836,093	2,894,141	3,146,247	2,777,949	2,777,949
	Seawater	2,844,799	2,604,661	2,659,075	2,896,186	2,724,215	2,666,270
	Rate	8%	8.2%	8.1%	7.9%	1.9%	4%
LCC15	Existing	4,752,639	4,133,160	4,270,102	4,890,224	3,998,213	3,998,213
	Seawater	4,238,343	3,677,183	3,800,897	4,363,475	3,770,546	3,698,918
	Rate	10.8%	11%	11%	10.8%	5.7%	7.5%
LCC20	Existing	6,717,166	5,526,029	5,782,195	6,992,679	5,277,703	5,277,703
	Seawater	5,886,622	4,828,921	5,055,685	6,132,368	4,867,661	4,781,685
	Rate	12.4%	12.6%	12.6%	12.3%	7.8%	9.4%

4. 결 론

본 연구에서는 빙상경기장에 해수열원을 적용하였을 경우, 설비시스템의 LCC 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫 번째, 해양심층수는 2~4℃의 저온성과 에너지부존량이 무한하기 때문에 열원으로 우수하다. 또한 화석연료를 사용하지 않기 때문에 환경오염에 관한 문제가 적다.

두 번째, LCC를 분석한 결과, 해수열원의 회수기간은 약 4.5년으로 나타났다. 두 대안을 20년 동안 가동할 경우 기존방식에 비하여 약 12.6%의 절감율을 나타냈으며, 비용으로는 약 6억 7천만원의 비용이 절감되는 것으로 나타났다.

세 번째, 민감도 분석결과, 정부 지원금을 20%로 감소시켰을 때 가장 절감율이 낮았고, 이자율을 4.5%로 증가시켰을 때 절감율이 가장 컸으나, 실제적인 비용 절감은 물가상승율을 9%로 증가시켰을 때 가장 큰 것으로 나타났다.

마지막으로 보다 정확하고 실용적으로 해수열원을 적용하기 위하여 냉방시스템 뿐만 아니라 히트펌프를 사용한 난방시스템까지 적용하여 소규모 건물이 아닌 대규모 지역의 지역냉난방에 적용한다면 전력피크로드를 감소할뿐만 아니라 탄소배출량 또한 대폭 줄여 환경오염개선이 큰 기여를 할 것으로 보인다.

후 기

본 연구는 국토해양부가 지원하는 “해양심층수의 에너지 이용기술 개발” 성과 중 일부이며, 지원에 감사드립니다.

References

1. Chae M.B., Yun H.D., Lee J.S., Nyun W.S.,
A Study on Analysis of Air conditioning

System in Ice links, The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineer of Korea, Summer Conference, 2009.
2. Lee M.O., Ocean Energy Engineering, Channam University Publishing Department, 2008
3. Park J.Y., Kim S.U., Lee H.S., Kim H.J., Analysis of Validity according to Application of Seawater Heat Source for Ice Link Air-Conditioning System, The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineer of Korea, Summer Conference, 2012.
4. Park J.Y., Kim S.U., Lee H.S., Kim H.J., Economics Analysis of Cooling System using seawater Heat Resource for Ice-rink, The Korean Society for Marine Environment and Energy, Autumn Conference, 2012.
5. www.ASHRAE.org