[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 34, No. 2, 2014
ISSN 1598-6411
http://dx.doi.org/10.7836/kses.2014.34.2.053

해수열원을 이용한 빙상경기장의 에너지절약 방안에 관한 연구

Energy Saving Strategies for Ice Rink using Sea-Water Heat Source Cooling System

김삼열*† ・박진영**・박재홍**
Kim Samuel*† , Park Jin-Young** and Park Jae-Hong**

(Submit dte : 2014. 1. 13., Judgement date : 2014. 1. 20., Publication decide date : 2014. 3. 21.)

Abstract : Ice Rink is energy intensive building type. Concern of energy saving from buildings is one of very important issues nowadays. New and renewable energy sources for buildings are especially important when we concern about energy supply for buildings. Among new and renewable energy sources, use of seawater for heating and cooling is an emerging issue for energy conscious building design. The options of energy use from seawater heat sources are using deep sea water for direct cooling with heat exchange facilities, and using surface layer water with heat pump systems.

In this study, energy consumptions for an Ice Rink building are analyzed according to the heat sources of air-conditioning systems; existing system and seawater heat source system, in a coastal city, Kangnung. The location of the city Kangnung is good for using both deep sea water which is constant temperature throughout the year less than 2℃, and surface layer water which should be accompanied with heat pump systems. The result shows that using sea water from 200m and 30m under sea lever can save annual energy consumption about 33% of original system and about 10% of that using seawater from 0m depth. Annual energy consumption is similar between the systems with seawater from 200m and 30m. Although the amount of energy saving in summer of the system with 200m depth is higher than that with 30m depth, the requirement of energy in winter of the system with 200m depth is bigger than that with 30m depth.

Key Words : 아이스링크(Ice Rink), 에너지절약(Energy Saving), 해수열원(Seawater heat source), 냉난방시스템(Heating and cooling system), 해양에너지(Ocean energy)

*† 김삼열(교신저자) : 동의대학교 건축설비공학과
E-mail : skim@deu.ac.kr, Tel : 051-890-1982
**박진영, 박재홍 : 동의대학교 건축공학과

*† Kim Samuel(corresponding author) : Department of Building System Engineering, Dong Eui University.
E-mail : icdie00@naver.com, Tel : 051-890-2443
**Park Jin-Young, Park Jae-Hong : Department of Architectural Engineering, Dong Eui University.

1. 서 론

2018년 동계올림픽의 유치를 계기로, 빙상경기장 건물에 대한 일반인들의 관심이 많아지고 있다. 빙상경기장은 연중 빙판에 얼음을 얼려야 하면서도 관람석과 사무실 등의 공간에는 난방도 필요하여, 냉난방에너지가 많이 사용되는 건물이라 볼 수 있다. 건물의 냉난방과 관련하여 현재까지 개발되고 있는 다양한 에너지절약 방안들 중에서 신재생에너지 및 미활용에너지에 대한 관심이 증가하고 있으며, 그 중에서 해양에너지는 방대한 보존량과 다양한 이용방법 등으로 그 사용가치가 높다고 인식되어지고 있다. 해양에너지 기술을 이용한 건물의 냉난방 시스템의 개발은 미국, 일본 등의 선진국에서는 이미 실용화 단계에 있으며, 그 사례들도 소규모 건물단위에서 대규모 집단에너지(지역냉난방)에 이용하는 등 다양한 형태로 개발되어 사용되고 있다. 그러나 아직까지 그 활용도가 높을 것으로 예측되는 빙상경기장의 건물에 해양에너지가 적용되는 사례는 전무한 현실이다.

우리나라도 해양에너지 개발기술을 미래의 해양국가 유망기술로 분류하고 기술개발 투자를 지속적으로 유지하고 있으나, 아직 상업화 단계에는 이르지 못하고 있다. 해양에너지와 관련되어 현재 진행되고 있는 대부분의 연구가 온도차 발전에 초점을 맞추고 있으며, 건물의 냉난방에 적용하는 방안의 노력은 초기 단계여서 앞으로의 연구와 실증실험이 더욱더 필요한 실정이다.

건물이용에 사용되는 해양에너지는 해양표층수와 해양심층수로 나누어 살펴볼 수 있다. 해양표층수의 해수온도는 외기온도와 비교하여 여름에는 낮고 겨울에는 높은 특성을 가지고 있어서 열교환을 통하여 건물이나 지역의 냉난방시스템에 활용할 수 있고, 해양심층수는 강릉의 경우 연평균 2℃ 이하의 저온 특성을 가지고 있어 열교환만 거치면 건물의 냉방에 직접적으로 사용할 수 있다. 이러한 해수의 특성은 냉난방이 특히 많이 필요한 빙상 경기장에 응용되었을 경우 많은 양의 에너지 절약이 가능하게 될 것으로 보인다.

이에 본 연구에서는 현재 일반적으로 사용되고 있는 빙상장의 에너지원에 대한 분석과 함께, 강릉 지역의 빙상경기장 건물에 해수를 이용하여 냉난방을 하였을 경우 절감되는 에너지의 양을 분석하고자 한다. 이를 위하여 강릉 인근 해역의 해수 온도를 분석하고 기존 냉난방시스템과 표층수 및 심층수의 해수열원 히트펌프를 적용한 냉난방시스템을 비교하고자 한다.

2. 강릉지역 해수온도 분석

강릉 지역의 빙상경기장에 대한 해수열원 냉난방시스템을 도입하기 위한 조건으로써 강릉 인근해역의 해수온도에 대한 분석을 하였다. 수심별 해수온도를 알아보기 위하여 국립수산과학원의 정선측정자료를 토대로 최근 3년간(2010년～2012년)의 측정자료를 분석하였다.

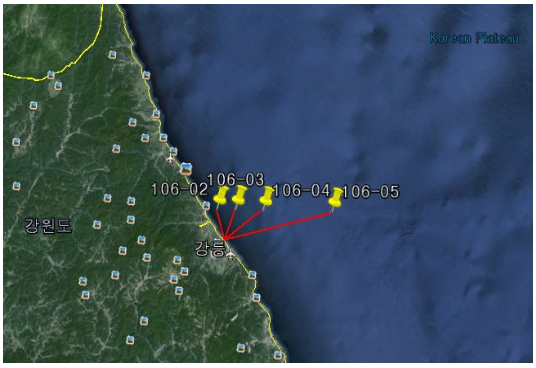

Fig. 1 Measurement Point of Seawater Temperature

측정지점은 강릉 해안에서 가까운 위치에 있는 106 측정지점 중에서 수심 200m가 확보되는 최근접거리인 106-3 지점을 대상으로 분석하였다. 이 저점의 해수온도를 0, 10, 20, 30, 200m 깊이에서의 온도로 구분하여 2010년~2012년 수온측정데이터의 평균값을 조사하여, 평균수온을 정리하여 Fig. 2 와 같이 나타내었다.

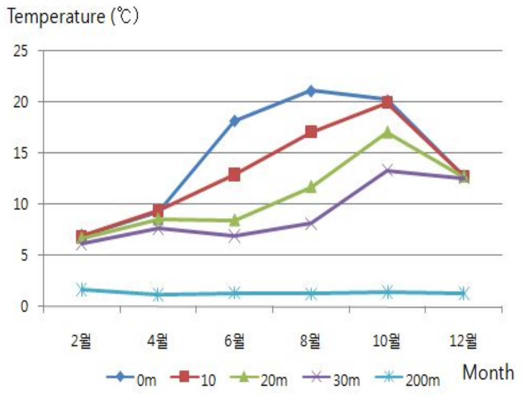

Fig. 2 Seawater Temperature on 106-3 point

해양표층수의 영역인 0~30m 지점에서의 수심에 따른 온도분포는 6~10월을 제외한 나머지 달에서는 수심에 따른 온도영향이 적은 것으로 나타났다. 수심 30m일 때 계절에 따른 온도변화가 다른 수심에 비하여 적으며, 특히 여름철인 6월에서 8월까지의 수온이 10℃ 이하의 저온을 확보할 수 있어서 냉방에 사용하기에 적절한 것으로 보인다. 그러나 수심이 깊어질수록 해안에서의 거리가 멀어져 취수 배관 설치에 따른 초기투자비용이 올라가고 시공 상의 어려움이 존재한다. 수심 0m의 경우에도 여름철에 20℃ 안팎의 수온을 유지하여, 주변의 기온에 비하여 낮게 형성되고 있다.

해양심층수의 영역인 수심 200m 지점에서는 연중 거의 일정한 온도를 유지하고 있으며, 그 온도는 약 1.1℃에서 1.7℃으로 아주 저온의 온도본포를 보여주고 있다. 이는 취수한 물을 열교환기만 거쳐서 직접 냉방에 사용하기에 아주 좋은 조건의 온도를 나타내는 것이다. 본 연구에서는 수심에 따른 취수영역을 수심 0m, 30m 및 200m 로 구분하여 분석을 하였다.

3. 빙상경기장 건물의 개요 및 냉난방 시스템

국내의 빙상경기장의 냉각방식은 주로 간접냉각 방식을 사용하며 왕복동식 냉동기가 사용되고 있다. 냉매는 주로 R-22를 사용하고, 파이프 냉각공법은 영구형(brine)을 많이 사용하고 있다. 빙상경기장에 브라인 냉각방식을 적용할 경우, 빙면은 Fig. 3 과 같이 구성된다. 이 때 각 부분의 온도분포는 얼음 -4~-3℃, 빙면층 냉각코일 -8~-10℃, 하부층의 코일은 4℃이다.

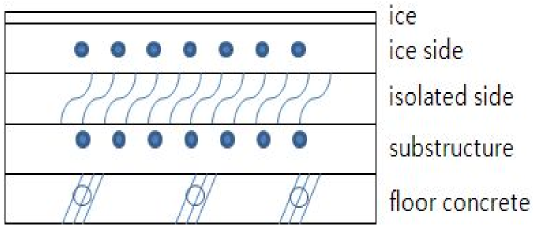

Fig. 3 Floor structure in a ice rink

빙상경기장에서 사용되고 있는 에너지는 계절에 따라 일부 차이가 있을 수 있지만, 주로 얼음의 냉각과 냉난방에 사용되고 있다. 펌프와 팬 등의 냉각과 냉난방을 위한 기반설비에 사용되는 것들을 합하면 약 80% 가까운 에너지가 냉각 및 냉난방 등의 공조시설에 사용되고 있다. Table. 1 은 미국 ASHRAE Handbook에서 제시한 아이스링크의 에너지 사용 분포를 나타내었다.

Table. 1 Daily Load for Ice Rink
(Source : ASHRAE Handbook)

Daily load sources category	Edmonton Winter		Pittsburgh Summer		Pittsburgh Spring	
	W/㎡	%	W/㎡	%	W/㎡	%
Convection	17.9	18.8	18.4	13.6	18.4	16.1
Radiation	31	32.5	49.3	36.3	38.5	33.7
Lighting	7	7.3	8	5.9	6.4	5.6
Condensation	1.6	107	18.5	13.6	10.8	9.5
Ice Resurfacing	19.6	20.5	19.6	14.4	19.6	17.1
Ground Conduction	2.2	2.3	3.4	2.5	3.4	3
Pump work	10.3	10.8	10.3	7.6	10.3	9
Headers	1.9	2	2.7	2	2.3	2
Skaters	3.9	4	5.4	4	4.5	4
Total	95.4	100	13.5	100	114.3	100

본 연구에서 에너지 사용량을 분석하는 데 사용할 대상건물은 기존의 연구[1)]에서 분석된 부산의 P 빙상센터를 강릉에 위치시켜, 현재의 공조시스템과 해수를 이용한 공조시스템의 에너지 사용량을 비교분석하였다. 부산의 P 빙상센터의 경우 간접제빙방식을 채택하여 운영하고 있으며, 이 방식은 능률적인 운전이 가능하며 운전정지 시에도 온도 상승이 늦고, 유지관리가 간편하다는 장점을 가지고 있다.

3.1 기존 냉난방 시스템

빙상경기장의 공조시설에서의 에너지 사용량의 분석을 위하여 대상 건물의 연간 냉난방 부하량을 분석하였다. P 빙상센터는 국제규격의 빙상경기장으로써 현재 사용 중인 건물이다. P 빙상경기장의 냉방시스템은 Table. 2 와 같다.

Table. 2 Equipment for P Ice Rink Building

Equipment	Cooling Capacity (kcal/hr)	Heating Capacity (kcal/hr)
Heater / Chiller	181,440	190,800
Cooling Tower	332,000	-
Refrigerator	470,080	-

빙상경기장에서의 각 부위에 필요한 온도에 따른 각 건물의 층별 공조 및 비공조 존을 나누어, 강릉시의 기후조건을 설정하여 Fig. 4와 같이 연간 냉난방부하를 도출하였다. 타 건물과는 달리 빙상경기장은 연중 냉방과 난방이 동시에 필요하며, 이러한 특성에 따른 에너지 사용패턴은 해수의 저온성을 이용하기에 적절한 건물이 될 수 있다.

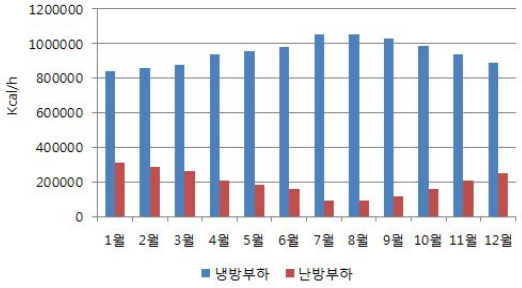

Fig. 4 Annual heating and cooling loads

3.2 해수열원 냉난방 시스템

해수열원 냉난방 시스템은 크게 해수취수시설, 열교환시설, 열사용시설로 구분할 수 있다. 해수취수시설에서는 빙상경기장 주변의 해수를 취수하며, 진공자압식 해수취수펌프를 통하여 해수를 끌어올려 열교환시설로 공급한다.

취수배관은 해수로 인한 부식 문제로 인하여 다양한 배관을 사용할 수 없으며, 일부 배관을 적용하고 있다. 일반적으로 콘크리트관, PE관, HDPE관, FRP관을 많이 사용하고 있

다. 본 연구에 적용된 직접취수방식은 바다에 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 파이프를 연결하여 해양심층수를 직접 심정펌프로 끌어올려 열원으로 사용하는 방식이다.

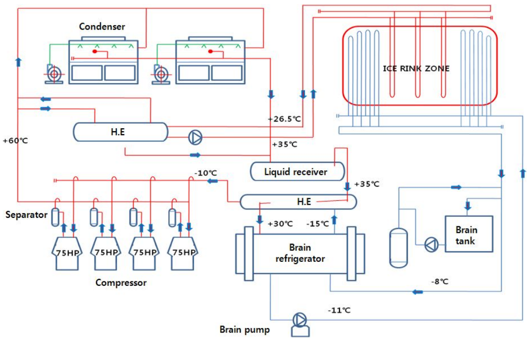

Fig. 5 Application of seawater heat source in a ice rink air-conditioning system

열교환을 위해서 수열원 히트펌프를 적용하였다. 수열원 히트펌프의 적용은 히트펌프에서 생산된 냉난방열을 이용하여 축열조에 열을 저장하고 이를 활용하여 건물 또는 지역의 냉난방을 실시한다. 해수를 열원으로 할 경우 냉방 시에는 히트펌프가 축열조로부터 흡열을 실시하여 바다로 열을 방출하고 난방 시에는 해수가 히트펌프의 열원이 되어 축열조에 난방열을 제공한다.

해수로 인한 히트펌프의 부식을 방지하기 위하여 티타늄 열교환기를 통하여 1차 열교환 후 히트펌프에 공급한다. 열의 안정적인 공급을 위하여 축열조를 설치하여 열수요처로 공급하도록 한다. 수심 200m 이하의 심층수의 경우, 연중 2℃ 이하의 저온의 강릉 유역의 심층수를 냉방에 이용할 수 있다. 해양심층수는 빙상경기장의 냉각 및 건물 냉난방에 적용할 수 있다. 온도 분포를 고려하여 심층수의 해수열원을 적용할 수 있는 부분은 빙면층 냉각코일과 하부층 코일이다. 해양심층수의 경우 연평균 2~4℃를 유지하기 때문에 하부층 코일에 직접적인 사용이 가능하며, 냉각코일의 경우에도 1차측 열교환시 냉매로써 간접 사용이 가능하다.

수심 0m 또는 30m 깊이의 표층수 및 수심 200m 의 심층수를 이용한 경우의 냉난방부하를 산정하기 위하여, 각 지점별 월별 해수온도와 강릉시의 온도와 각 지점의 월별 온도분포(Fig. 2)를 이용하여 Table.3 과 같이 난방과 냉방의 COP를 산정하였다.

Table. 3 Monthlyt Heating & Cooling COP for Sea-water System

Month	0 m		30 m		200 m	
	Heating	Cooling	Heating	Cooling	Heating	Cooling
1	2.95	7.26	2.90	7.36	2.26	8.88
2	2.70	7.80	2.63	7.95	2.27	8.84
3	2.80	7.58	2.69	7.81	2.25	8.89
4	2.90	7.36	2.76	7.66	2.23	8.94
5	3.31	6.59	2.73	7.73	2.24	8.93
6	3.76	5.88	2.69	7.8	2.25	8.91
7	3.91	5.66	2.74	7.69	2.24	8.92
8	4.07	5.44	2.79	7.59	2.24	8.93
9	4.02	5.51	3.03	7.12	2.25	8.91
10	3.97	5.58	3.27	6.67	2.25	8..89
11	3.58	6.14	3.23	6.73	2.25	8.91
12	3.22	6.75	3.2	6.79	2.24	8.92
Mean	3.43	6.46	2.89	7.41	2.25	8.91

Table. 3에서 산정된 월별 COP를 식 1을 이용하여 히트펌프의 용량을 Table. 4와 같이 산정하였다.

$$\frac{냉방부하}{냉방\,cop}+\frac{난방부하}{난방\,cop}=히트펌프용량 \cdots\cdots (1)$$

Table. 4 Required Heat Pump Capacity for Sea-water System

	0m	30m	200m
Cooling	221RT	170RT	135RT
Heating	134RT	137RT	173RT
Total	355RT	307RT	308RT

4. 시스템별 에너지사용량 분석

본 연구에서는 빙상경기장 건물의 해수열원 적용방안에 대한 평가를 위하여 기존 시스템과 해양표층수 및 해양심층수 해수열원 냉난방시스템을 비교하여 에너지사용량을 분석하였다. 에너지비용을 산출하기 위하여 각 시스템별 연간 에너지 소모량을 분석하였다.

Fig. 6은 기존 시스템과 해수열원(취수깊이 0m, 30m, 200m) 시스템의 연간 에너지사용량을 나타내고 있다. 각각의 에너지 사용량은 취수되는 해수의 온도와 빙상경기장의 부하패턴에 따라서 구해질 수 있다.

여름철에 많은 부하의 발생으로 인한 에너지소비량이 많을 수밖에 없는 빙상경기장에 수심 200m 이하의 해양심층수를 이용한다면 오히려 7,8월에 적은 부하가 발생됨을 알 수 있다.

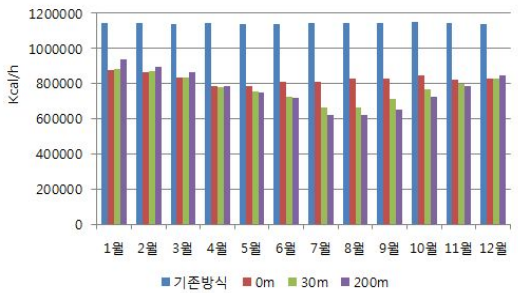

Fig. 6 Monthly Heat Load for Existing and Sea-water Systems

기존방식의 연간 에너지 사용에 기반이 될 부하량과 해수를 이용한 시스템의 연간 부하량을 비교하면 Fig. 7과 같이 나타낼 수 있다. 연간 부하량을 볼 때에도 해양심층수를 이용할 경우에는 기존의 시스템을 이용할 때에 비해 약 33%의 에너지의 절감효과를 볼 수 있으며, 0m의 표층수를 이용할 경우와 비교해서도 약 10% 이상의 에너지절감효과를 기대할 수 있다. 그러나, 수심 30m 의 표층수를 이용할 때와 비교하면 큰 차이가 발생하지 않음을 알 수 있다.

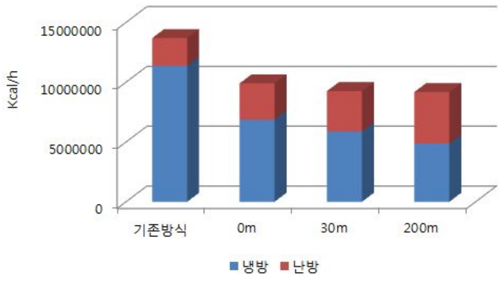

Fig. 7 Annual Heat Load for Existing and Sea-water Systems

5. 결 론

공조를 위한 에너지의 소비량이 많은 빙상경기장을 대상으로 해수를 열원으로 하는 냉난방시스템의 적용방안을 알아보기 위하여 기존의 빙상경기장을 2018년 올림픽 빙상경기장이 위치할 강릉에 위치시켜 기존 냉난방시스템과 표층수 및 심층수 해수열원 냉난방시스템의 적용방안 및 에너지사용량을 분석을 하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) 대상 지역 인근의 해수온도의 분포는 표층수와 심층수를 열원으로 하는 냉난방시스템의 적용이 모두 가능하며, 현재의 공조시스템의 대체 적용 안으로 설정하였다.
(2) 대상 건물의 냉난방 부하를 분석하여 표층수 및 심층수 해수열원 냉난방시스템의 적용방안을 선정하였으며, 이를 기존에 설치되어 있던 냉난방시스템과 비교하여 30m 깊이 취수의 경우와 200m 심층수의 취수의 경우에는 기존방식에 비해 약 33%, 0m의 취수에 비해 약 10%의 에너지 절감효과가 있음을 볼 수 있다.
(3) 총 에너지의 사용량은 기존 시스템과 대

비하여 수심 0m의 해수를 이용한 경우 약 72%, 수심 30m의 해수를 이용한 경우 약 68%, 수심 200m의 해수를 이용한 경우 약 67%의 에너지가 사용됨을 알 수 있다. 따라서 약 기존시스템 대비 해수시스템을 이용할 경우 약 28~33%의 에너지가 절감됨을 알 수 있다.

(4) 냉방의 경우만을 고려한다면 기존시스템에 비해 200m의 해수를 이용한 경우 절반도 되지 않는 43%의 에너지만 사용되어 57%의 에너지 절감을 볼 수 있다.

표층수 및 심층수 해수열원 냉난방시스템의 적용을 통한 에너지사용량을 분석한 결과 기존의 냉난방시스템과 비교하여 에너지가 절감됨을 볼 수 있다. 그러나 초기투자비를 고려한다면 경제성이 없는 것으로 나타나지만, “대체에너지개발 및 이용 보급 촉진법”에 따라 국가가 사업비의 일정부분을 지원할 경우 경제성이 높아질 것으로 사료된다. 또한 심층수의 이용에 있어서 냉난방 용도 이외에 타 용도의 심층수 취수와 연동시켰을 경우에는 그 경제성을 확보할 수 있으리라 보여진다. 또한 매년 에너지비용이 상승하는 것을 고려한다면 해수열원 냉난방시스템의 경제적 가치가 더욱 상승할 것이다.

후 기

본 연구는 2012학년도 동의대학교 학술연구비 지원에 의해 수행되었음 (과제번호 2012AA144).

reference

1. Park, J.Y., et al., Application and Life Cycle Cost Analysis for Ice-rink using Seawater Heat Source Cooling System, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 33, No. 2, 2013, pp50-55
2. Park, J.Y., et al., The Application and Evaluation of Heating and Cooling System by Seawater Heat Source for Research Center Building in Jeju, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 33, No. 6, 2013, pp26-31
3. Hwang, K.Y. et al., A Study of Policy Measures for Commercializing Marine Energy in Korea, Korea Maritime Institute, 2010
4. Matsuo, J et al., Thermal Characteristics and Energy Conservation Measures in an Indoor Speed-Skating Arena, Proceedings of Building Simulation 2011, pp2072-2079
5. Hong, H.K. et al., Air-Conditioning System by Heat Pump, Sungandang, 2002
6. Park, H. C., et al., Building Energy Demand Models for Officies in Kora, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 29, No. 5, 2009
7. Park, H. C., et al., Development of Energy Demand Models for Hospitals, Korean Journal of Air- Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 21, No. 11, 2009
8. Lee S. J., Study of the Energy Consumption Survey and Energy Intensity Analysis of the University Campus, Master's thesis, Changwon University, 2013
9. Karampour, M., Measurement and Modelling of Ice Rink Heat Loads, Master of Science Thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management, Stockholm