

해수열에너지를 이용한 히트펌프의 국내 적용을 위한 성능평가 시뮬레이션

임승택¹ · 김정식² · 오철[†]

(원고접수일 : 2014년 5월 27일, 원고수정일 : 2014년 7월 7일, 심사완료일 : 2014년 9월 16일)

Performance analysis simulation for domestic application of heat pump by using sea water heat source

Seungtaek Lim¹ · Jungsik Kim² · Cheol Oh[†]

요약: 문명의 발전과 도시화, 산업화를 통하여 인류는 의식주의 해결뿐 아니라 더 나은 생활환경을 추구하였다. 그 결과 냉동 및 공조 분야의 연구와 개발이 활발히 진행되어 왔다. 하지만 인류는 21세기에 들어 상승하는 고유가와 환경문제를 더 이상 간과할 수 없게 되었다. 그 대안으로, 해수의 열원을 이용한 열펌프의 개발이 진행되었다. 본 논문에서는 2010년의 해수와 대기의 온도를 분석하여 열펌프의 국내 적용을 위한 성능평가 시뮬레이션을 HYSYS 프로그램을 이용하여 전수식과 전공기식에 적용하였다. 그 결과, 총 평균 성능계수는 전수식에서 3.37 그리고 전공기식에서 3.48을 기록하였다. 이와 같은 결과로 해수열원을 이용한 열펌프 시스템이 국내사용에 적합함을 알 수 있었다.

주제어: 성능계수, 전수방식, 전공기방식, 냉동톤, 열펌프

Abstract: Due to the development of human civilization, industrialization and urbanization, the human race demanded the food, clothing and shelter as well as a comfortable living environment. For the purpose of this, the refrigeration and air conditioning part was carried out research and development. However, high oil prices and environmental pollution having problems in the 21st century cannot be overlooked. As an alternative, thermal system was designed using the heat pump to applied sea water heat source. In this paper, outside and sea temperatures are analysed in 2010 and carried out the performance analysis simulation at All water and All Air heat pump system by HYSYS program for domestic use. As a result, total average COP of the system is 3.37 from All Water system and All Air is 3.48. It showed that high performance confirmed in both system.

Keywords: Coefficient of Performance, All Water, All Air, Refrigeration, TonHeat Pump

1. 서 론

인류문명의 발달로 인하여 산업화와 도시화가 진행되면서 인류는 의식주의 해결 뿐 아니라 쾌적한 생활환경을 위하여 냉동 및 공기조화분야의 연구와 개발이 진행되었다. 하지만 21세기에 들어와

고유가와 환경오염이라는 간과할 수 없는 문제에 봉착하여 냉동·공조의 분야에서도 고효율 친환경 기술의 개발이 절실하게 되었다. 국내에서도 지속적으로 상승하고 있는 유가에 대처하기 위하여 새로운 기술의 보급과 함께 2001년부터 에너지수급

[†]Corresponding Author: Division of Marine Engineering, Korea Maritime and Ocean University 727 Taejong-ro, Yeongdo-Gu, Busan 606-791, South Korea, E-mail: ohcheol@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4268

¹ Division of Marine Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: dhdhffj@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4871

² Division of Machine Environment Research Division, Korea Marine Equipment Research Institute, E-mail: kjsk2@komeri.re.kr, Tel: 051-400-5141

의 평균화와 관련하여 히트펌프가 급속도로 보급되었다[1]. 국내 적용의 어려운 점으로 동절기 낮은 외기온도의 영향으로 만족할 만한 난방용량을 얻기 어려우며 전통적인 온돌형 건물구조로서 바닥 난방을 선호하고 있기 때문이었다. 그러나 이런 국내 특성이 히트펌프의 국내에 영향을 미치게 되면서 기존의 보편화된 공기열원의 사용이 아닌 자연친화적 에너지원인 해수열의 연구가 지속되는 계기가 되었다. 최근 국내에서도 Chang[2]과 Park[3]등에 의하여 해수 열원 히트펌프의 적용 방안 및 실증 연구가 진행되어 Chang[2]의 경우 2단 캐스케이드 방식을 이용하여 50-60℃의 고온수를 생산할 수 있는 열펌프를 실험하여 냉방 시 5.0, 난방 시 4.0의 높은 성능계수 COP(Coefficiency of Performance)를 기록하였으며 급탕에 사용되는 고온수를 생산 시 압축기 출구온도가 83℃정도 유지하며 신뢰할 만한 연구결과를 얻었고, Park[3]의 경우 R-134a와 R-410a를 적용한 캐스케이드 열펌프를 구현하여 전체 COP가 3.2정도의 시스템 효율을 얻을 수 있었다. 대표적인 국내 상용 해수온도차 냉난방의 적용 사례는 부산 한국해양대학교의 국제교류협력관의 냉난방 겸용 열펌프가 있다. 2007년 Gug[4]에 의해 열원 및 타당성이 연구되어 2011년 Oh[5]등의 최근 연구에서 냉방 시 5.6, 난방 시 5.0의 높은 성능계수를 확인하였다. 이와 같은 시스템 성능은 에너지절감효과가 약 54%로 일본 모모치 지역냉난방의 에너지절감효과가 40%라는 점에 비교하여 매우 높은 고효율시스템임을 알 수 있다. Figure 1은 Chang등이 연구하고 있는 대표적 캐스케이드 열펌프의 T-S 선도이다.

본 연구에서는 선행연구의 국내 도입을 위하여 국내 해안도시의 열원인 해수와 외기온도를 분석하였고 분석한 열원을 사용하여 22RT (Refrigeration Ton)급 열펌프를 시뮬레이션 하여 지역별 성능특성을 비교하였다. 해석은 상용 공정모사 프로그램인 Aspen HYSYS 7.3v로 수행하였으며 적용된 모델식(property package)은 냉동시스템에 널리 이용되는 Peng-Robinson 상태방정식(PR EOS)을 적용하였다. 열펌프의 종류로는 전수식과 전공기식을 비교하여 시스템적용을 연구하였다.

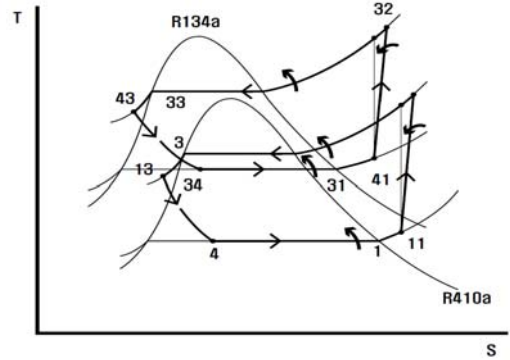


Figure 1: T-S Diagram of cascade heat pump system

2. 시스템 설계 조건

2.1 국내 해안도시의 열원 분석

해수 열펌프를 국내에 적용하기에 앞서 국내 대형 해안도시의 열원을 분석할 필요가 있다. 본 논문에서는 해안도시를 위도에 따라 동해 3곳(강릉, 울산, 포항) 남해 3곳(여수, 부산, 제주), 서해 2곳(인천, 목포)을 선정하여 2010년 1년간의 외기온도와 해수온도의 온도 변화를 분석하였다. 해수온도의 변화는 해양수산청에서 발표한 연간 해수온도를 적용하였으며, 외기온도는 기상청에서 발표된 표준외기온도를 계절별로 적용하였다. 해수의 취수는 사용이 비교적 용의하며 온도변화가 적어 Oh등에 의해 한국해양대학교에 적용된 수심 10m의 해수를 적용하였다. Figure 2와 Figure 3는 연간 외기온도와 해수온도의 변화를 나타내고 있다.

년 중 외기온도의 변화는 지역적 위치와 상관없이 비슷한 형태를 취하고 있으나 위도의 차이에 의하여 지역별로 최대 온도차이가 겨울철 약 8℃ 여름철 약 4℃의 차이를 갖는 것을 보인다. 반면 해수온도의 변화는 지역적 위치와 상관없이 같은 모양을 취하던 외기온도 변화와 달리 중부지방과 남부지방의 온도 변화율과 온도차는 그래프 상에서 뚜렷하게 다른 모양을 가지고 있다. 중부지역인 인천, 목포, 강릉의 3개의 도시는 월별 최고, 최저 온도차가 각각 20.2℃, 19.7℃, 14.7℃을 나타내어 평균 온도차인 14.6℃ 보다 높은 온도차를 확인하였으며 그 외 제주 지역은 8.8℃의 온도차를 나타내어 가장 적은 온도 변화를 나타내었다.

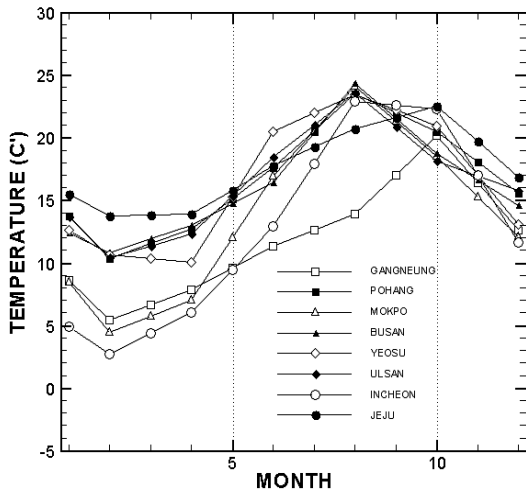


Figure 2: Local atmosphere temperature change in 2010

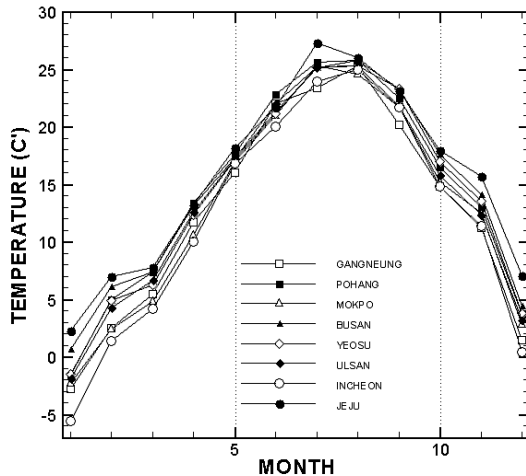


Figure 3: Local sea temperature change in 2010

2.2 사이클 개요 및 시스템 구성

해수온도차냉난방에 사용되는 냉난방시스템은 기존 압축식 히트펌프를 이용한 냉난방시스템을 적용하였다. 또한 Figure 4의 기존 압축식 히트펌프의 구조와 같이 압축기, 응축기, 팽창밸브, 증발기로 구성되며 사용되는 열원의 종류에 따라 해수의 사용이 다양하게 전환되도록 구성하였다.

냉매의 사용은 오존층 파괴 가능성이 적은 수소불화탄소(HFC : Hydro Fluoro Carbons)인

R-134a를 이용하여 시뮬레이션을 실행하였다. R-134a는 저온과 고온을 동시에 사용해야하는 히트펌프의 특성에 따라 임계점이 80℃ 이상에서 상대적 저압을 유지한다는 장점이 있다. Table 1은 히트펌프의 구성요소 및 열원을 정리하였다.

Table 1: Condition of Heat Pump System

Refrigerant	R-134a (HFC)
Heat source	Water or Air
Heat transfer method	All water or All air
System component	Compressor 1 set
	Heat exchanger 2 set
	Expansion valve 1 set
Heat exchanger type	Shell & Tube
Heat pump type	Compressed

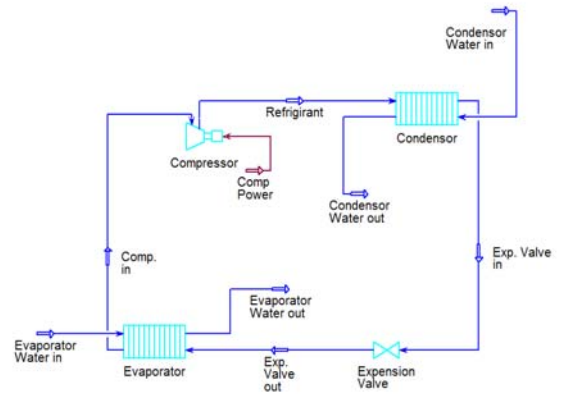


Figure 4: Modeling of heat pump system

2.3 시스템 계산 조건

시스템의 전체 성능을 분석하기 위하여 냉난방에 사용한 전력과 이로 인해 새로이 생성된 열에너지와의 비를 이용하여 성능계수를 구하였다. 식 (1)과 (2)는 각각 냉방 시와 난방 시의 성능계수를 구하는 식으로서 전수식 열펌프를 사용하거나 전공기식 열펌프를 사용할 경우에 사용된다. 이때 성능계수는 총 냉방열량 (Q_{cool})과 난방열량(Q_{hot})을 총 사용전력(W_{total})으로 나눈 값으로 결정되며, 총 사용전력은 압축기(W_{comp})와 해수펌프(W_{sea}) 그리고 순환펌프 또는 순환팬 2기($W_1 + W_2$)의 사용전력의 합과 같다.

$$COP_{cool} = \frac{Q_{cool}}{(W_{total})} = \frac{Q_{cool}}{W_{comp} + W_{sea} + W_1 + W_2} \quad (1)$$

$$COP_{hot} = \frac{Q_{hot}}{(W_{total})} = \frac{Q_{hot}}{W_{comp} + W_{sea} + W_1 + W_2} \quad (2)$$

총 실내열량을 22RT로 설계하기 위하여 공급되는 냉방열원의 온도는 전수식에서 7℃, 전공기식에서는 14℃를 설계하였으며, 온도차는 동일하게 5℃의 표준 온도차를 적용하였다. 반면 난방열원은 전수식에서 60℃로 설계하여 급탕이 가능하도록 하였고 전공기식에서는 30℃로 설계하였다. 해수열원 공급압력과 냉매에 관한 자세한 사항은 Table 2 같이 분류하였다.

Table 2: Specific condition of Heat pump system

Heat source	Water	Air
Heat duty [RT]	22	
M [10 ³ kg/h] :		
Condenser Cooling (summer)	36.0	173.7
Evaporator Warming (summer)	14.4	62.9
Condenser Cooling (winter)	14.4	62.9
Evaporator Warming (winter)	36.0	173.7
Refrigerant	Variable	
Seawater	Variable	
T [°C] :		
Room Cooling	7	14
Room Warming	60	30
ΔT (room heat loss)	5	
Refrigerant compressor out	80	
Seawater	Variable	
Outdoor	Variable	
W [kW] :		
Pump or Fan (sea side)	0.16	10
Pump or Fan (room side)	1.03	4
P [bar] :		
Refrigerant compressor out	20	
Seawater pump	3	
Supply	3	0.3

3. 운전시스템 해석

3.1 전수식 시스템의 성능분석

전수식 히트펌프를 설계하기 위하여 ASHREA의 전수식 모델을 적용하여 Figure 5같이 나타내

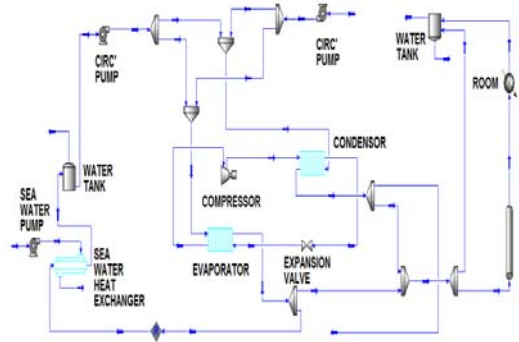


Figure 5: Modeling of all water system

었다[6]. 전수시스템에서는 실내와 순환되는 급수 시스템과 해수와 열교환되어 순환되는 급수 시스템으로 나뉘어 냉난방에 따라 4방밸브를 이용하여 공급수 방향이 전환된다. 이 때 축열조를 이용하여 열의 낭비를 막는다.

전수방식 열펌프의 계절별 특징은 Figure 6와 Figure 7에서 나타낸 바와 같이 외기의 영향보다 해수의 영향으로 시스템의 효율이 결정된다는 것이다. 비교적 낮은 해수온도를 나타내는 지역이 겨울철 낮은 효율을 나타내며, 대조적으로 여름철에는 높은 효율을 나타낸다. 겨울철 최저 해수온도를 기록한 인천은 2월 2.6℃의 최저온도에서 1.81의 최저 성능계수를 기록하였으며 반면 겨울철 최고 해수온도를 기록한 제주의 11월 19.7℃의 최고온도에서 3.74의 성능계수를 기록하여 해수온도변화에 따라 최대 1.93의 효율차를 나타내었으며 이를 소비 열량으로 계산하면 22RT급 열펌프가 성적계수 1.0에서 73,040kcal/h의 전력을 소비함으로 이를 환산하여 인천에선 41,078kcal/h의 전력을 소비하였고 제주에서는 19,886kcal/h의 전력을 소비하여 21,192kcal/h의 최대 열량차를 기록한다. 또한 여름철 최고 해수온도를 기록한 부산의 8월 24.4℃의 해수온도에서 3.3의 효율을 나타내며, 최저 해수온도를 기록한 강릉의 5월 9.6℃의 해수온도에서 3.76의 성능계수를 나타내어 온도별 최대 0.47의 효율차를 보이며 열량으로 전환하면 부산에서 22,589 kcal/h의 전력량과 강릉에서 19,760kcal/h의 전력량의 사용으로 11,640kcal/h의 열량차를 보인다.

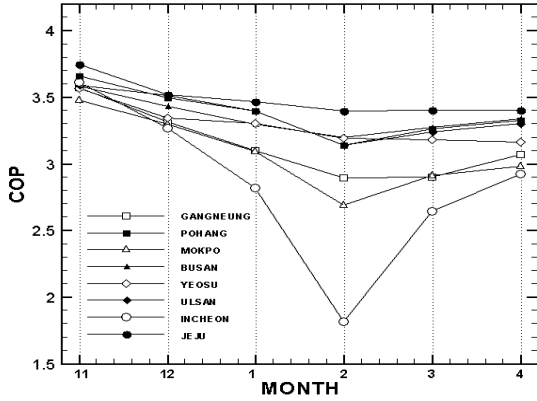


Figure 6 Coefficient of performance for warming of all water system

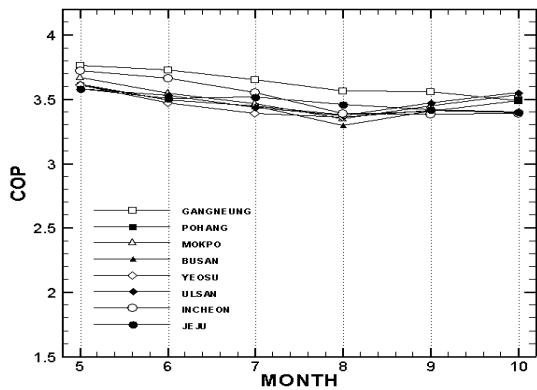


Figure 7 Coefficient of performance for cooling of all water system

3.2 전공기식 시스템의 성능분석

전공기식 열펌프는 해수의 영향보다 외기의 영향으로 시스템의 효율이 결정된다. 해수에 의해 지속적으로 청수와 열교환하는 전수방식과는 달리 전공기식은 열교환된 공기를 외부로 방출하기 때문에 해수는 실내로 공급되는 공기와 열교환을 위해서 사용되거나 최소 설계조건 이내의 조건으로 외기온도를 공급하기 위하여 사용된다. 전공기식 히트펌프를 설계하기 위하여 ASHREA의 모델을 적용하여 Figure 8같이 나타내었다. 전공기 시스템은 댐퍼를 이용하여 증발기와 응축기로의 공기흐름을 전환하는 방식으로, 실내로 공급되는 공급공기를 해수를 이용하여 열교환한다.

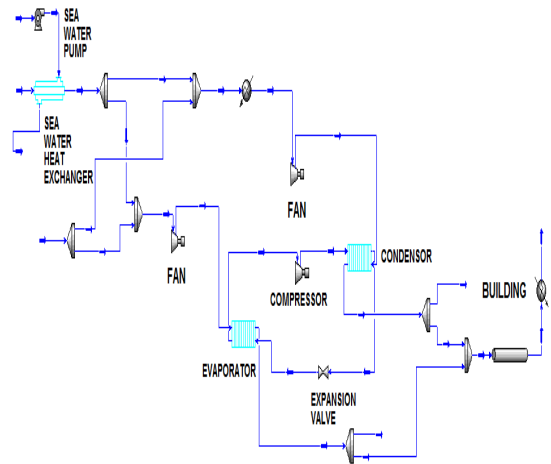


Figure 8 Modeling of all air system

외기의 온도가 난방 시 2℃ 이상에서는 해수 펌프의 사용동력이 고온의 열매체를 사용하여 얻어진 열량에 비하여 전체 효율이 감소되기 때문에 외기온도가 일정온도 이하의 조건에서 해수가 사용되고 냉방 시에도 해수를 직접 열 교환하여 실내에 공급하기 위해서는 14℃이하의 해수온도 조건과 열펌프를 사용하는 간접 열교환 방식을 사용한다 하더라도 환급공기 온도인 19℃ 이하의 해수온도에서 사용되므로 사용이 제한 적이다.

난방 시 최고 외기온도를 기록하는 11월 제주 시의 15.7℃온도에서 3.03의 최고 효율을 기록하였으며, 최저 외기온도를 기록하는 1월 인천시의 -5.6℃ 온도에서 1.90의 최저 효율을 기록하여 1.10의 효율차를 기록하였다. 이 효율차를 소비열량으로 전환하면 제주시에서 24,579kcal/h, 인천시에서 39,115kcal/h의 소비 열이 발생하여 최대 14,536kcal/h의 열량차를 보인다. 최저 외기온도를 기록하고 있는 강릉과 인천의 10월 14.8℃의 온도에서 4.78의 성능계수를 보이는 반면 최저 해수온도를 기록하는 강릉의 5월 16.8℃의 외기온도에서 16.56의 최고효율을 기록하였고, 해수의 영향을 받지 않은 최고 외기온도인 7월 제주에서 2.59의 성능계수를 보여 해수를 사용한 최고 냉방능력이 최저 냉방능력에 13.96 이상 큰 것으로 확인하였다. 냉방 시 성능을 열량으로 전환하면 제주에서 28,766kcal/h의 전력량을, 강릉시에서 4,497kcal/h를 기록하여 24,269kcal/h의 열량차를 나타내었다.

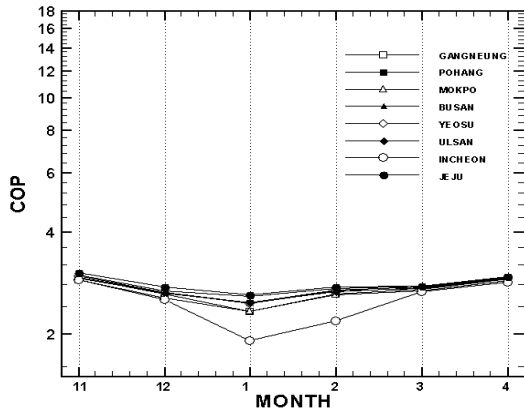


Figure 9 Coefficient of performance for warming of all air system

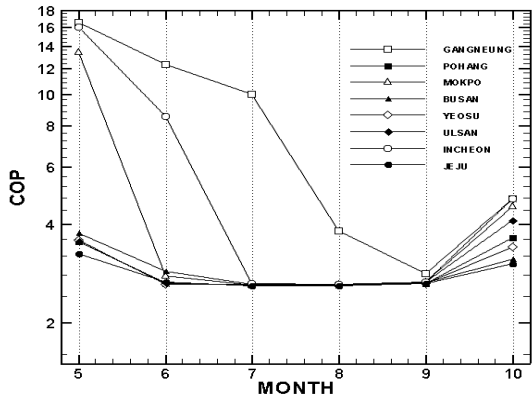


Figure 10 Coefficient of performance for cooling of all air system

4. 결 론

본 논문에서는 고효율 친환경 냉난방시스템인 열펌프의 국내 적용과 시스템 효율향상을 위하여 해수의 열 온도차를 이용한 해수온도차냉난방시스템을 설계하였고 국내 해안도시의 외기와 해수의 온도 변화에 따른 최적 시스템을 비교하여 지역별 성능변화를 연구하였다. 설계는 열매체에 따라 전수식과 전공기방식의 열펌프를 구현하고 2010년의 외기온도와 수심 10m의 해수온도를 월별로 적용하여 각 해안도시의 성능계수(COP)를 구하여 두 시스템의 성능을 비교 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전공기방식의 냉난방장치를 사용하는 목포, 인천, 강릉의 경우 냉방 시 저온의 해수를 이용하여 해수와 공급공기와의 열교환 후 실내로 공기를 공급하는 방식이 기존의 열펌프를 사용하지 않게 되어 평균 성능계수 6.4의 높은 시스템 성능향상을 보였으며 강릉시의 경우 냉방사용이 높은 6월에서 9월까지 저온 해수의 영향으로 평균 7.2의 높은 성능계수를 보였으나 인천과 목포의 경우 5월과 6월의 상대적 적은 냉방사용을 나타내는 계절에 성능이 높아 적용에 제한이 됨을 확인하였다.

2) 지역별 시스템 적용은 높은 냉방성능을 기록하여 평균 성능계수가 4.3을 기록한 강릉과 목포와 인천에서 전공기방식의 적용이 용의하지만 그 밖에 지역에서는 전수식과 전공기식의 평균 성능계수가 전수식에서 3.4, 전공기식에서 2.8을 기록하여 전수식 시스템 사용이 연간 평균성능이 높다는 결과를 얻었다. 하지만 냉·난방 사용량에 따른 시스템 적용은 목포와 인천에서도 전수식 시스템사용이 요구되고 있음을 확인하였다.

3) 시뮬레이션 결과 전수식 해수온도차냉난방 시스템은 해수온도의 영향을 받아 시스템성능이 결정되며, 전공기식 해수온도차냉난방시스템은 외기온도의 영향을 받아 시스템 성능이 결정되었다.

위의 연구결과는 에너지 효율이 높은 시스템의 설계와 상용화에 활용 가능성이 기대되며, 추가적으로, 향후 해수를 이용한 히트펌프의 장점이 연구 검토되어야 할 것이다.

후 기

이 논문은 국토해양부의 지원으로 수행한 해양에너지 전문인력 양성사업의 연구결과입니다.

참고문헌

[1] S. Takada, "The history of development of heat pump technology", The Latest Technology Trends in the Heat Pump, pp. 36-37, 56-62, 2002.
 [2] J. Y. Kim, "Study on the operating characteristics water source heat pump air-conditioning

system an empirical,” Proceedings of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea Summer Conference, pp. 544-549, 2009 (in Korean).

- [3] K. C. Park, “Study on the performance characteristics of using seawater heat source cascade heat pump” Proceedings of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea Summer Conference, pp. 794-797, 2012 (in Korean).
- [4] S. G. Gug, “Introduction of air cooling and heating system by using ocean thermal energy in KMU”, The Society of Marine Engineering, vol. 31, no. 8, pp. 899-903, 2007 (in Korean).
- [5] C. Oh, “Current status and future prospects on research of ocean thermal energy conversion and air-conditioning system” Proceedings of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea Summer Conference, pp. 154-159, 2011 (in Korean).
- [6] R. C. Werden, Applied Heat Pump Systems, ASHRAE Handbook, Atlanta, USA, pp. 10.1-10.3, 1984.