

해수열원 히트펌프 시스템의 냉난방 운전 특성에 관한 실증 연구

김 지 영, 백 영 진, 나 호 상, 장 기 창[†]

한국에너지기술연구원 태양열·지열연구센터

Experimental Study on the Cooling and Heating Operation Characteristics of a Sea Water Source Heat Pump

Ji-young Kim, Young-Jin Baik, Ki-Chang Chang[†] Ho-Sang Ra

Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

solar and Geothermal Energy Research Center, Korea Institute of Energy Research(KIER),

Yeosung P.O Box 103, Taejon 305-600, Korea

ABSTRACT: The purpose of this study is to investigate the field Operation Characteristics of a sea water heat source cascade heat pump system and system applicable to Building. Cascade heat pump system is composed R410A compressor, R134a compressor, EEV, cascade heat exchanger, Plate heat exchanger etc. Building area is 890m² and has five floors above ground. R410A is used for a low-stage working fluid while R134a is for a high-stage. The system could runs at dual mode. One is mode of general R410A refrigeration cycle in summer and the other is cascade cycle. In order to gain a high temperature supply water in winter season, the system is designed to perform a cascade cycle. The filed test results show that the sea water heat source heat pump system exhibits a COP of about 5.5 in cooling mode along with a heating COP of about 4.0 in 1-stage heating mode. Cascade 2-stage heat pump system is enough to supply 60°C water and heating COP is about 3.0

Key words: Sea water heat source(해수열원), Heat pump(히트펌프), Cascade cycle(2원사이클)

기 호 설 명

COP_C : 냉방 성능계수

COP_H : 난방 성능계수

1. 서 론

히트펌프 기술은 저온의 열원에서 열을 흡수하여 고온의 열원으로 열을 방출시키는 에너지 절약적인 장치이다. 사이클 상으로 고온부에서 열의 방출을 목적으로 하는 히트펌프와 저온부에서 열의 흡수를 목적으로 하는 냉동기는 열역학적으로 동일한 사이클을 이루고 있으며, 냉난방 겸용 히트펌프는 냉매회로에 조절을 통하여 두 가지의 기능을 수행하도록 사이클을 구성한 시스템이다. 이러한 히트펌프는 공급하는 전기에너지에 수배에 달하는 열량을 난방열로 공급할 수 있기 때문에 에너지 절약적인 장치이로서 현재 세계적인 경제위기 및 에너지 고갈, 고유가 시대 맞아 다

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-860-3163; fax: +82-2-860-3133

E-mail address: kcchang@kier.re.kr



Fig. 1 Field test site

양하게 연구되어지고 있는 분야이다.

히트펌프는 저온부에서의 흡수하는 열원을 다양하게 이용 할 수 있으며 열원에 따라 히트펌프의 성능은 많은 차이를 보이게 된다. 현재 해수, 하천수, 지열, 공기열 등에 대한 많은 연구가 진행되어지고 있으며 우리나라의 경우 3면이 바다인 점을 고려하면 해수 열에너지는 거의 무한한 에너지원으로 좋은 열원으로 활용 할 수 있다.

해수열원은 계절에 따른 수온의 변동이 하천수에 비해 적고, 동결온도가 약 -2°C 로 낮아 하천수보다 저온까지 열 이용이 가능하며, 여름에는 대기보다 $5-10^{\circ}\text{C}$ 낮고 겨울에는 대기보다 $5-8^{\circ}\text{C}$ 높은 온도차를 가지고 있으므로, 히트펌프의 열원으로서 아주 우수한 특성을 가지고 있다. 또한 지형적인 특징으로 인해 부산, 인천 등 7개 항구 도시 연안 인근에는 냉난방·급탕 열수요가 많은 업무용 및 상업용 고층빌딩과 대단위 아파트가 위치하고 있다. 이러한 지역에서 해수를 냉난방·급탕 열원으로 이용하기 아주 좋은 지리적 조건을 가지고 있다.

본 연구는 향후 개발 및 적용 되어질 해수열원 히트펌프에 대한 개발 및 기초, 실증연구로서 동해안에 위치한 강원도 삼척시 근덕면 덕산리 소재 건물 국립 강원대학교 삼척캠퍼스 해양관광레저스포츠센터 현장 적용을 통해 해수열원 히트펌프의 냉난방 운전특성에 관한 연구를 수행하였다.

2. 해수열원 히트펌프 설치 및 필드테스트

2.1 적용 사이트



Fig. 2 Photograph of Heating equipment

Fig. 1은 해수열원히트펌프가 적용되어진 건물로써 층수는 5층이며 건물면적 890m^2 , 연면적 1540m^2 이다. 내부 구조는 15인용 방 3개, 귀빈용 방 3개, 사무실 20평, 체력 단련장, 교육장 등으로 되어있으며 난방은 1층 팬 코일 2대, 2층은 팬코일 2대 및 바닥 난방, 3층은 팬 코일 9대, 4층은 팬코일 2대 및 바닥 난방으로 구성되어 있다. 난방 및 급탕 열원공급을 위해 Fig. 2와같이 경유 진공온수보일러($200,000\text{kcal/h}$)가 설치되어 있으며 냉방은 개별 패키지 에어컨 및 룸에어컨 설치되어져 있다.

2.2 히트펌프 설치 및 운전

Fig. 3은 현장에 설치되어진 해수열원 히트펌프 시스템의 전체 개략도를 나타내고 있다. 해수 취수는 필요요량이 약 $15\text{m}^3/\text{h}$ 이므로 해안에 구조물을 설치하여 취수하기에는 규모가 작기 때문에 설치비용을 고려하여 직접 취수보다는 해안가의 모래사장에 약 4m의 깊이를 파고 취수장비 및 스크린을 설치하여 바다의 어패류가 부착되어 막히는 현상을 해결하면서 파도 등에 의한 파손 등을 보호할 수 있도록 하였다. Fig. 4는 해수를 간접 취수하기 위한 관정 그림이다. 또한, 해수를 바다에서 직접 취수하였을 때와 간접 취수하였을 때의 수질분석을 실시해보면 간접 취수하는 것이 전기전도도, 부유물 질 및 염소이온 등이 적게 나타나는 것으로 조사되었으며 이는 간접 취수시 모래가 여과장치의 역할을 하고 있는 것으로 사료된다.

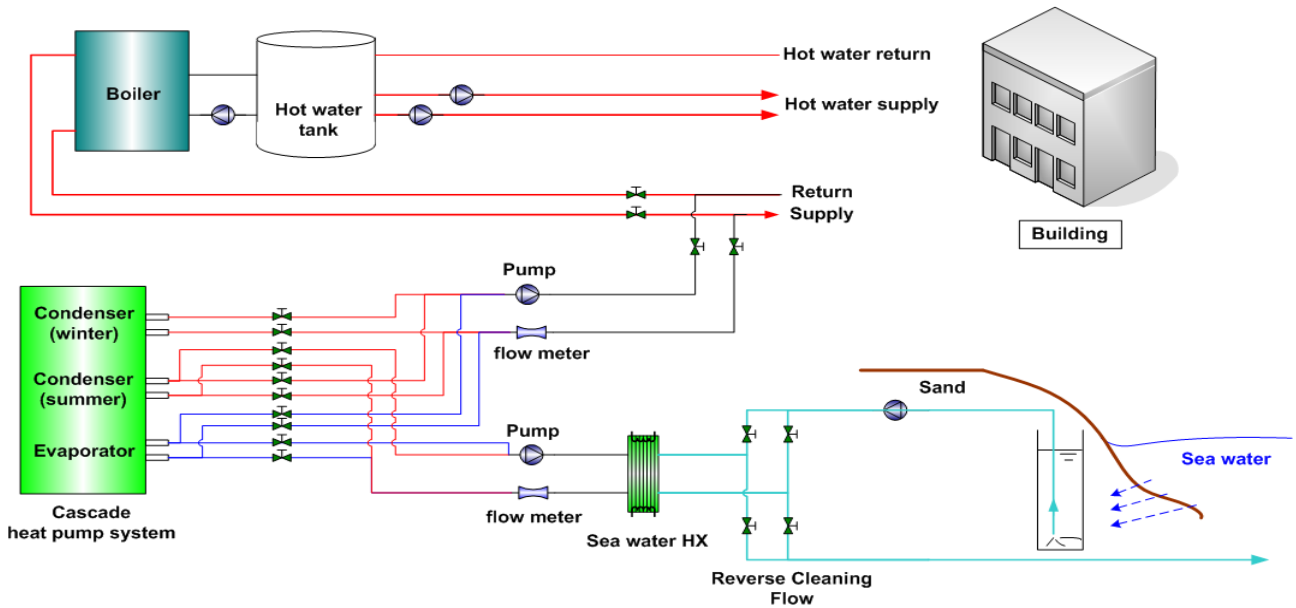


Fig. 3 Schematic diagram of sea water source heat pump system

해수열원 히트펌프시스템은 부식방지를 위해 티타늄 재질의 plate type 열교환기 사용하여 시스템과 간접 열교환 방식을 적용하였으며 미생물 부착에 대한 대안으로 역세정 방식을 채택하였다. 난방 운전인 경우 해수와 온수 공급수의 온도차가 비교적 커서 압축과정에서의 큰 비가역 손실이 예상되므로 이를 최소화하기 위해 Fig. 5 와 같이 캐스케이드 사이클(cascade cycle)을 적용하였다. 히트펌프는 안정성과 성능 및 친환경성을 모두 고려하여 HFC 냉매 조합인 저단 R410A, 고단R134a 조합의 캐스케이드 사이클로 구성하였으며 하계 및 춘추계에서는 저단 압축기만 운전하여 냉방 및 난방운전을 수행하고, 동계

에는 저단 및 고단 압축기 모두를 운전하여 캐스케이드 사이클을 구현하도록 함으로써 고효율 난방운전이 가능하도록 구성하였다.

시스템의 운전특성을 파악하기 위해 위하여 측정 시스템을 구성하였으며 측정 시스템은 PC 및 Labview를 기반으로 시스템 물측의 입·출구에는 4-Wire RTD, 냉매측의 입·출구에는 열전대(T-type) 및 전자식 압력계를 설치하였다. 또한 응축기 및 증발기 후단, 해수열교환기 및 시스템의 내부순환 루프에 유량계를 설치하여 2차 유체의 유량을 측정하였다. 압축기의 소비동력 측정을 위하여 저단 및 고단압축기에 각각 전력계를 설치하였으며, 이상의 모든 신호는 Agilent사의

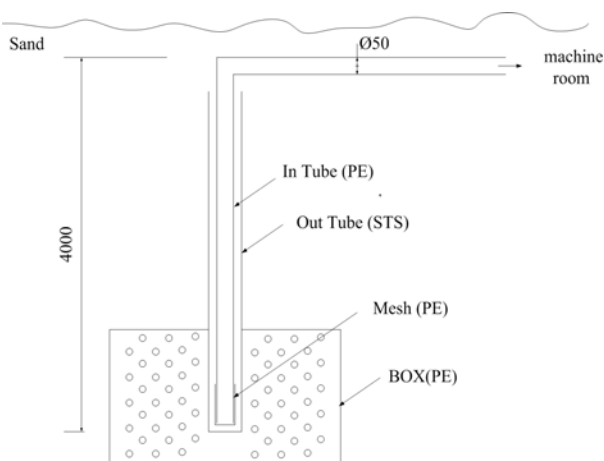


Fig. 4 Schematic diagram of Sea water intake

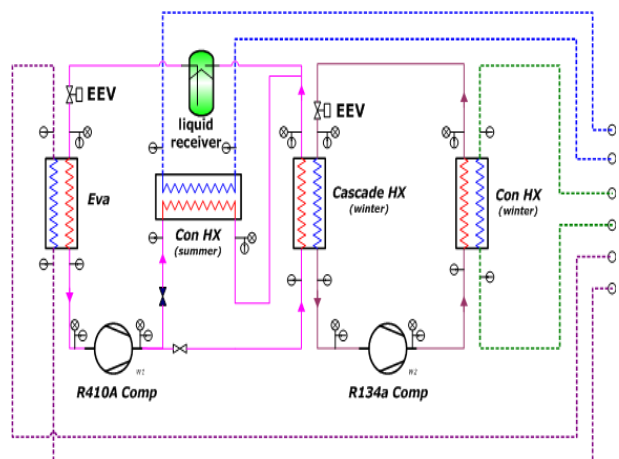


Fig. 5 Schematic diagram of cascade cycle



Fig. 6 Photograph of installed heat pump

34970A 계측장비와 연결된 PC상의 Labview프로그램을 통하여 화면에 표시 및 저장된다. Fig. 6은 현장에 설치된 해수열원 히트펌프 사진이며 Fig. 7은 해수열교환기 및 해수펌프 사진이다.

3. 냉난방 운전결과 및 고찰

3.1 운전 결과

실험 방법은 실제 운전 상황에 준하는 것으로 설정온도를 입력한 후, 운전 시작버튼을 눌러 시스템을 동작시킨 후 시간 경과에 따라 시스템의 동작 상태 및 성능을 살폈다. Fig. 8은 2008년 8월 중순 하계시즌 실제 히트펌프 운전기간 동안 측정된 해수 온도와 외기온도로써 최고 6-8°C도의 온도차를 나타내는 것을 알 수 있으며 Fig. 9는 2008.년 2월 동계 시즌으로 최고 해수와 외



Fig. 7 Photograph of Sea water heat exchanger & pump

기온도 차가 6-8°C를 나타내며 시즌별 해수의 온도는 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 2008년 8월 실제 냉방운전 기간 중 운전시간에 따른 COP_C 및 냉수 공급 온도를 나타낸 그래프로써 해수 온도는 약 24°C로 일정하며 축열조가 설치되어 있지 않아 히트펌프에서 건물로 직접 열원을 공급함으로써 설정온도에 의해 시스템의 운전과 정지가 반복되는 것을 알 수 있으며 COP_C는 평균 5.0을 나타내고 있다. Fig. 11은 2008년 3월에 단단 난방시 운전시간에 따른 온수 공급온도 및 COP_H를 나타낸 그래프로써 해수온도는 평균 10°C를 일정하게 유지하는 것을 알 수 있으며 45°C 온수 생산시 COP_H 약 4.0으로 다른 열원에 비해 우수함을 알 수 있다. Fig. 12는 해수 온도가 평균 8°C로 유지되는 조건에서 2단 운전시 온수 공급 온도에 따른 COP_H를 나타

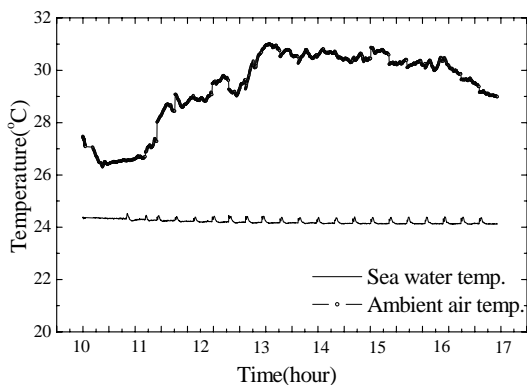


Fig. 8 Sea water and ambient air temp. variations over time.(2008.08)

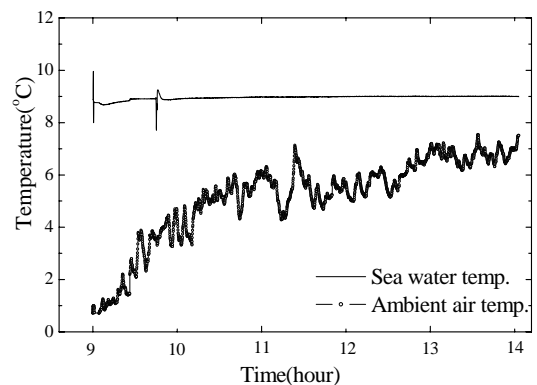


Fig. 9 Sea water and ambient air temp. variations over time.(2008.02)

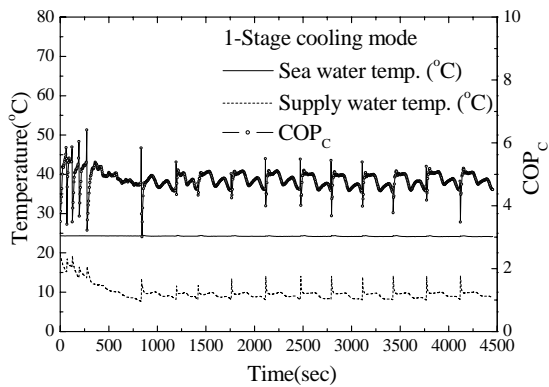


Fig. 10 Supply and sea water temp., COPc variations over time.(cooling mode)

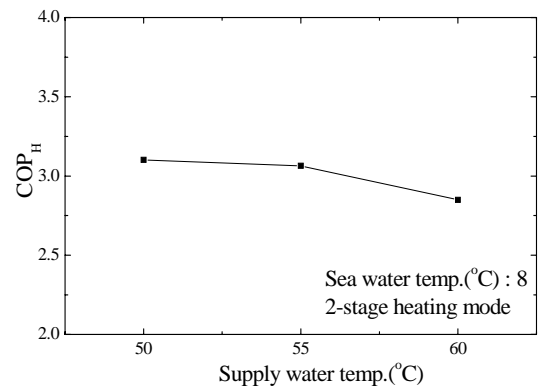


Fig. 12 COP_H with respect to supply water temp.

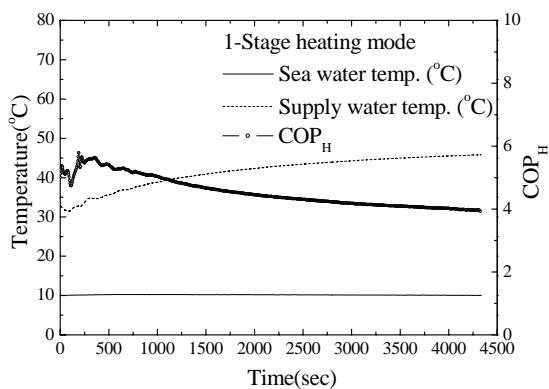


Fig. 11 Supply and sea water temp., COPc variations over time.(heating mode)

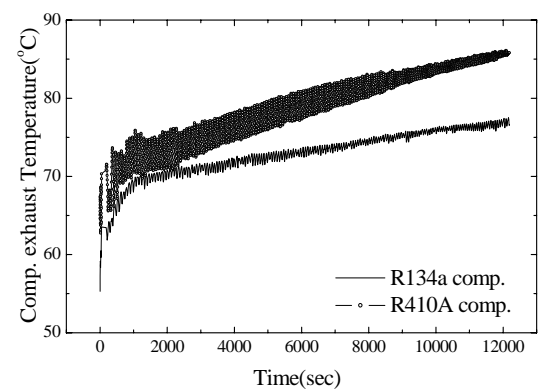


Fig. 13 Comp. exhaust temp. variations over time.

넨 그래프로써 50-60℃를 생산할 경우 평균 COP_H는 약 2.8-3.2 수준으로 나타났다. Fig. 13은 2단 난방 운전시 압축기 토출온도를 나타낸 그래프로써 해수 온도는 평균 10℃이며 온수공급온도는 6℃일 때를 감안하면 고단 압축기 토출온도 83℃을 나타내고 있어 이는 오일 탄화와 같은 시스템의 치명적인 위험요소를 배제할 수 있으며 이는 압축기의 수명과 신뢰성에 좋은 운전 상태를 예측할 수 있고 충분히 고온 생산이 가능함을 알 수 있다. Fig. 14는 2단 운전시의 과열도를 나타낸 그래프로써 저단 과열도인 경우 0-5℃ 사이의 값을 나타내어 압축기 액냉매 흡입으로 인한 문제를 일으킬 수 있어 EEV의 과열도 제어값을 수정해야 할 것으로 사료되며 고단 압축기인 경우 운전 초기에 과열도의 변화폭이 매우 큰 것

을 알 수 있으며 Fig. 15는 고단 압축기의 입·출구 압력을 나타낸 그래프로써 입·출구 압력차가 높게 형성됨으로써 과열도의 변화폭도 줄어드는 것을 알 수 있다. 또한 이러한 영향은 압축기에 토출온도에도 영향을 줄 수 있으며 Fig. 13에서 2단 운전 초기에 토출온도에 변화폭이 다른 운전 구간에 비해 크다는 것을 알 수 있으며 고단 과열도와 비슷한 경향을 보임을 알 수 있다. 이 같은 결과를 바탕으로 EEV의 설치 확인 및 운전 로직 조정이 필요 할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 해수를 열원으로 하는 히트펌프 개발 연구로서 실증용 해수열원 캐스케이드 히트펌

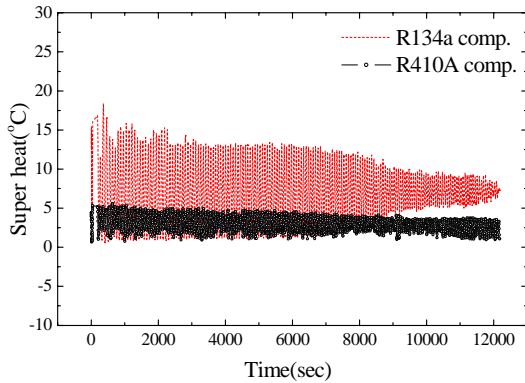


Fig. 14 Super-heat variations over time.

프를 제작하며 실제 현장에 적용하고 냉방 및 단 단 난방, 2단 난방에 운전을 통해 시스템의 운전 특성을 파악해 보았다.

실험은 실제 부하 조건 및 해수 조건에서 수행 하였을 해수의 온도는 외기온도에 비해 온도 변화 폭이 적고 안정적인 열원임을 알 수 있었다.

냉방운전인 경우 COP_C 는 평균 5.0를 나타냈으며 이러한 열원의 안정적으로 공급됨에 따라 높은 성능을 지속적으로 발휘하는 것을 알 수 있었으며 단단 난방인 경우 COP_H 평균 4.0으로 다른 열원과 비교 해보면 비교적 높은 COP를 나타내는 것을 알 수 있다.

2단 캐스케이드 난방운전시 고온수인 50-60°C의 생산이 충분히 가능함을 알 수 있으며 COP_H 는 평균 3.0을 나타내었다. 특히 압축기 토출온도가 60°C 생산시 약 83°C를 유지함으로써 시스템의 신뢰성에 대한 긍정적인 평가로 사료된다.

2단 운전시 저·고단 과열도는 안정적인 운전을 위해 조정이 필요하며 특히 고단 과열도는 큰 폭으로 변화하는 것을 관찰 할 수 있었으며 고단의 압력차가 줄수록 과열도 변화진폭이 줄어드는 것을 관찰 할 수 있었다.

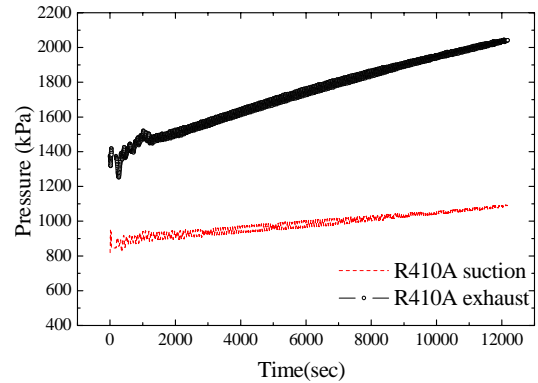


Fig. 15 Comp. suction and exhaust pressure variations over time.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 에너지 절약기술개발사업 중 한국에너지기술연구원이 주관하여 수행하고 있는 “해수이용 냉난방 시스템 개발”과제(2005-E-BD02-P-05-0-000)의 일부 결과이며, 이를 지원하는 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. K.H. Bang, S.H. Cho, K.J. Lee and J.T. Park, 1998, "A study on the ocean thermal energy resource", Proceedings of the SAREK summer annual conference, pp. 861~866.
2. Y.J Baik, K.-C Chang, S.R Park, H.S Ra J.Y Kim, 2006 "Performance Analysis of a Sea Water Heat Source Heat Pump" Proceedings of the KSME spring annual conference, pp.2342~2347