

해수열원 캐스케이드 열펌프시스템의 운전 특성에 관한 실험적 연구

김지영*·백영진*·장기창[†]·박성룡*·나호상*·이재훈**

An Experimental Study on the Performance of a Sea Water Heat Source Cascade Heat Pump

Ji-Young Kim, Young-Jin Baik, Ki-Chang Chang, Seong-Ryong Park,
Ho-Sang Ra and Jea-Hun Lee

Key Words: Sea water heat source(해수열원), Heat pump(히트펌프), Cascade cycle(2원 사이클)

Abstract

The purpose of this study is to investigate the performance of a sea water heat source cascade heat pump system. R717(Ammonia) is used for a low-stage working fluid while R134a is for a high-stage. In order to gain a high temperature supply water in winter season, the system is designed to perform a cascade cycle. In this study, two experiments were carried out. One is a system starting test from the low load temperature of 10°C. The other is a system performance investigation over the R717 compressor capacity changes. Experimental results show that when it starts from the low load temperature, the suction temperature of the low-stage compressor is higher than that of a high-stage. The system performance increases when a water source temperature or a low-stage compressor rotational frequency goes higher.

1. 서 론

해수 열에너지는 자연에너지로서 온도의 계절 변동이 하천수에 비해 적고, 동결온도가 약 -2°C로 낮아 하천수보다 저온까지 열이용이 가능하며, 냉·난방 시 대기와 5~10°C 정도의 온도차를 가지고 있으므로 (여름에는 대기보다 5~10°C 낮고 겨울에는 대기보다 5~8°C 높음), 히트펌프의 열원으로서 아주 우수한 특성을 가지고 있다.

또한, 이용가능 해수 열에너지의 부존량은 유

효해안선 1 km당 약 7,000 Gcal/month(1)로, 이는 해안선 1 km당 약 5,000여 세대의 아파트를 난방할 수 있는 막대한 열량으로서, 우리나라의 경우 3면이 바다인 점을 고려하면 해수 열에너지는 거의 무한한 에너지원으로 생각할 수 있다.

이러한 장점 때문에, 북유럽의 스웨덴, 노르웨이 등에서는 1982년부터 해수 열원 기기를 지역 난방용으로 이용하고 있다. 스웨덴의 경우 1.5~2°C의 해수를 이용, 1MW 이상급의 히트펌프 플랜트가 다수 운전되고 있으며, 노르웨이에서는 4~7°C의 해수를 열원으로 약 15 km²에 달하는 지역의 난방에 해수열원 히트펌프를 사용하고 있다. 최근 일본에서는 1993년부터 福岡의 Seaside Momochi지구를 비롯한 大阪 南港 Cosmo Area, 高松市 Sunport高松地區 등에서 지역난방용으로 해수 열원을 이용하고 있다.

이와 관련하여, 본 연구센터에서는 해수(하절기

[†] 회원, 한국에너지기술연구원 재생에너지연구부
E-mail : kcchang@kier.re.kr
TEL : (042)860-3163 FAX : (042)860-3133

* 한국에너지기술연구원 재생에너지연구부
미활용에너지·지열연구센터

** 국립한밭대학교 기계공학과 대학원

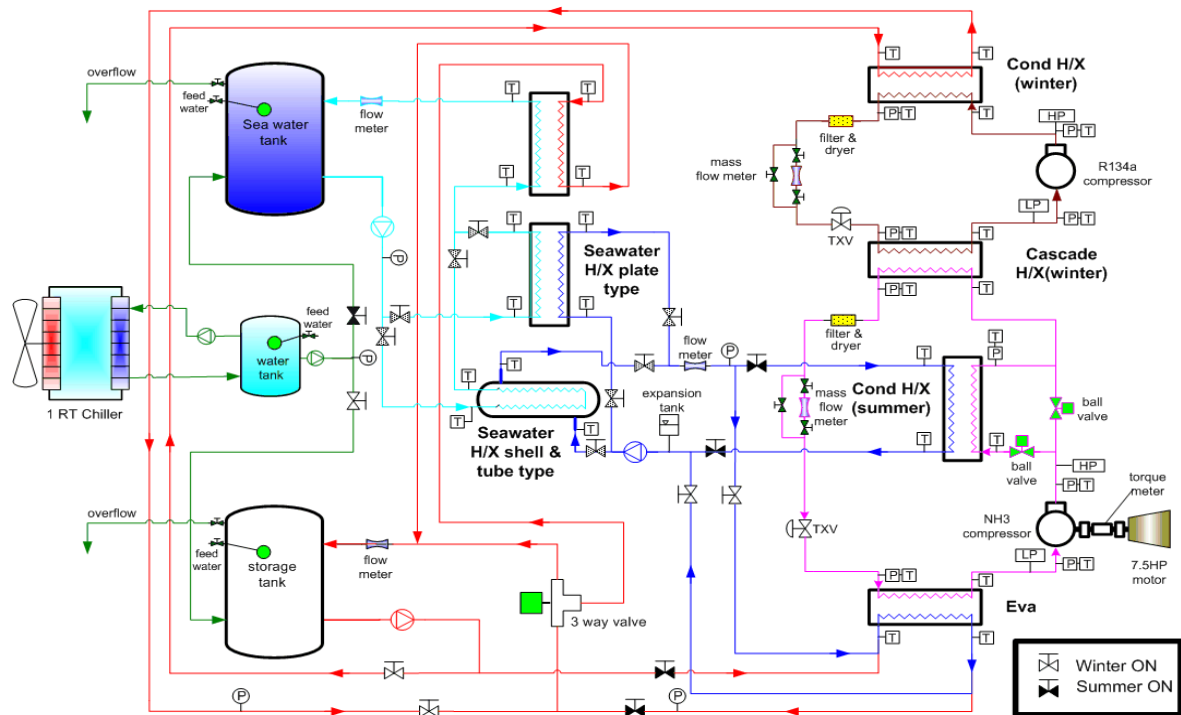


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

21~26℃, 동절기 3~16℃)가 갖는 열에너지를 히트펌프의 열원으로 이용하여 냉·난방용의 냉·온수를 제조하여 열수요처에 공급하기 위한 기술을 개발하고 있다. 한편, 히트펌프의 이차 유체로서의 해수 및 냉·온수 조건을 살펴보면, 냉방 운전의 경우 매우 우수하다고 판단되나, 난방 운전의 경우 해수와 온수의 온도차가 비교적 커서 압축과정에서의 큰 비가역 손실이 예상된다. 이를 최소화하기 위한 방법으로서, 본 연구에서는 캐스케이드 사이클(cascade cycle)을 고려하였다.

본 연구에서는 향후 개발할 중규모 이상의 시스템 설계를 위한 기초 연구로서, 시스템의 냉시동 특성과 해수 온도 및 부하율 변화에 따른 시스템의 성능변화를 실험적인 방법으로 고찰하였다.

2. 시스템 구성 및 실험방법

해수를 열원으로 사용하기 위해서는 기기의 염해를 방지하기 위한 방법과 미생물 부착 대책 등 시스템의 안정성 및 효율을 향상시키기 위한 부수적인 조건이 필요하다. 본 연구에서는 해수열원 열펌프시스템의 부식방지를 위해 티타늄 재질

의 shell & tube 해수 열교환기를 사용, 시스템과 간접 열교환 방식을 적용하였으며 난방 운전의 경우 해수와 온수 공급수의 온도차가 비교적 커서 압축과정에서의 큰 비가역 손실이 예상되므로, 이를 최소화하기 위해 캐스케이드 사이클(cascade cycle)을 적용하였다.

저단의 작동유체는 R717(암모니아)이며 개방형 왕복동 압축기와 삼상유도전동기 및 인버터를 사용하여 용량 가변을 할 수 있도록 구성하였다. 고단측의 작동유체는 R134a이며, 정속 밀폐형 왕복동 압축기를 사용하였다. 각각의 팽창밸브는 감온식 팽창밸브이며, 응축기, 증발기 및 캐스케이드 열교환기는 plate type, 해수 열교환기는 shell & tube type이다. 이 외에 저, 고단 수액기 및 오일분리기(저단) 등이 설치되었다.

실험 장치는 Fig. 1과 같이 구성하였으며 냉방 모드인 경우 R717를 사용하는 저단 압축기만을 사용하고, 난방인 경우 저단 압축기와 함께 R134a 고단 압축기를 사용하여 캐스케이드 사이클로 운전할 수 있도록 구성하였다. 실험 조건 구현을 위해 증발기의 2차 유체 입구 온도를 일정 온도 유지하기 위한 3way 밸브 및 열교환기 등으로 구성되었다. 우선 증발기에서 생산된 저

Table 1 Experimental condition

Sea water temp.[°C]	Pump flow rate[m ³ /h]	Low stage comp. frequency [Hz]	Heating temp.[°C]
6	3.26	40	45~50
8			
9		50	
10			
12			
14	60		

온수 중 일정량은 3way 밸브에 의해 바이패스 되어져 일정량은 저온수 저장 탱크로 직접 들어가고 나머지는 열교환기를 통해 응축기에서 생산된 고온수와 열교환하여 저온수 탱크로 유입된다. 이 때, 3way 밸브의 개도를 PID 제어하여 원하는 실험조건을 원활히 구현할 수 있도록 하였다. 고온수인 경우 칠러가 연결된 냉수탱크와 인버터 펌프, PID 제어를 사용하여 목표 온도가 유지 되도록 냉수탱크의 물을 고온수 탱크로 유입하여 목표 온도를 제어 할 수 있도록 구성하였다.

데이터 취득을 위하여 시스템 각부 입구 출구에는 4-Wire RTD(몰라인측), 열전대 및 전자식 압력계(냉매라인측)를 설치하였으며, 수액기 후단에는 질량 유량계를 설치하여 냉매유량을 측정할 수 있도록 하였다. 또한, 응축기 및 증발기 후단, 해수열교환기 및 시스템의 내부순환 루프에 유량계를 설치하여 2차유체의 유량을 측정하였다. 압축기의 소비동력 측정방법은 저, 고단에 따라 다른데, 저단의 경우 토오크 센서와 회전수 센서의 출력으로부터 축일을 계산하였으며, 고단의 경우 전력량계를 사용하여 측정하였다. 이상의 모든 신호는 Agilent-34970A 계측장비와 연결된 PC상의 VEE 프로그램을 통하여 화면에 표시 및 저장된다.

실험은 크게 두 가지로 실행되었다. 첫 번째는 냉시동 특성 파악을 위한 실험으로서, 2차 유체의 온도가 매우 낮은 난방 초기운전 조건을 모사하여, 응축기로 약 10°C의 유체가 흐를 경우의 기동 운전 특성 실험이다. 다른 하나는 정상상태의 성능 파악을 위한 실험으로서, table 1과 같이 해수의 온도와 저단 압축기의 부하율 변화에 따라 시스템의 특성을 고찰하였다.

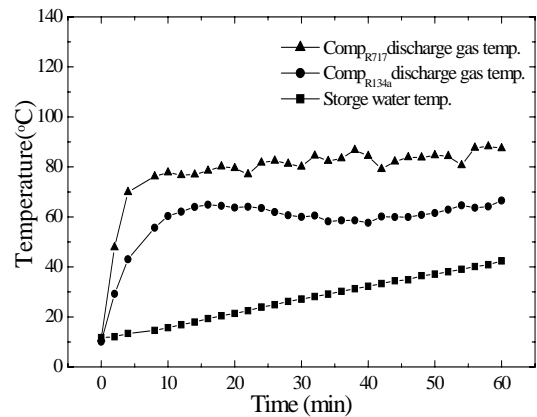


Fig. 2 Comp. discharge gas temp. and sea water temp. variations

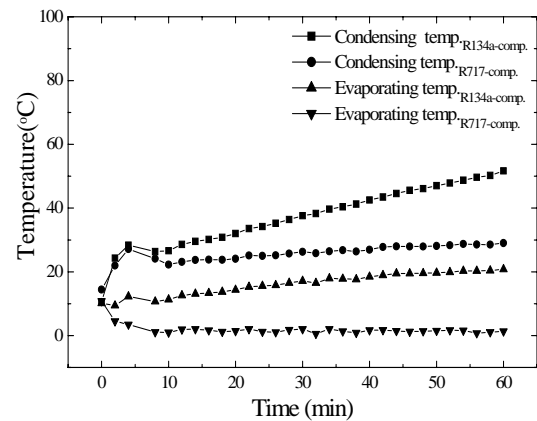


Fig. 3 Condensing and evaporating temp. variations over time lapse

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 기동 초기 운전 특성

장시간 시스템이 정지된 후 재기동시의 시스템 특성 파악을 위한 실험으로, 해수의 온도는 10°C로 일정하게 유지시켰다. 부하측의 온수 저장탱크 용량은 약 540L이며, 이의 초기 온도는 10°C이고, 운전을 시작하여 43°C로 상승되기까지의 시스템 변화를 관찰하였다.

Fig. 2는 저단 및 고단 압축기 토출가스 온도와 온수 저장탱크 내 온수의 온도 변화를 시간 경과에 따라 나타낸 것이다. 본 연구에서는 저장탱크내 물의 온도가 10°C에서 43°C로 상승 될 때까지 약 60분의 시간이 소요되었으며, 저단측 R717 압축기 토출온도가 고단측 R134a 압축기 토출온도보다 20~30°C 정도 높은 상태에서 운전 되는

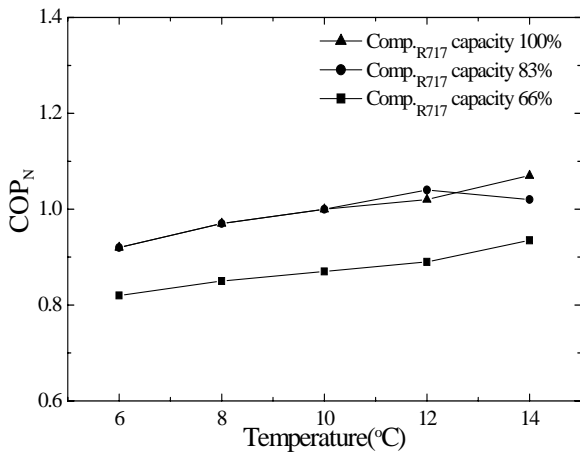


Fig. 4 COP variations over sea water temp. change

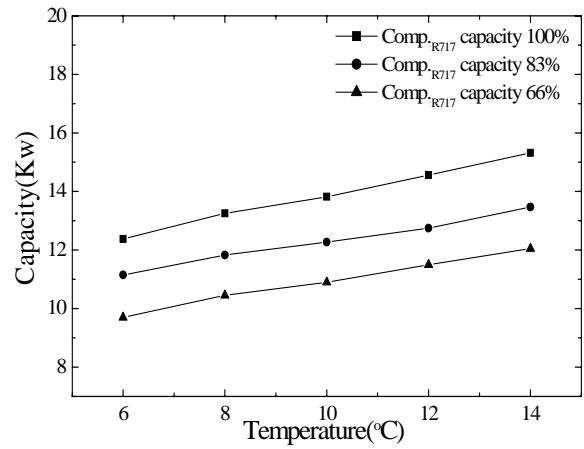


Fig. 6 Capacity variations over sea water temp. change

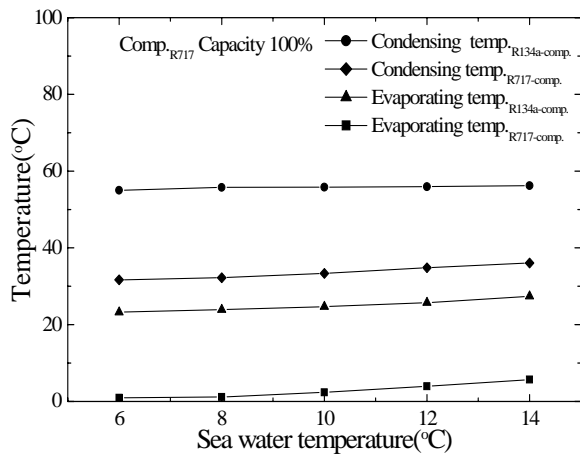


Fig. 5 Condensing and evaporating temp. variations over sea water temp. change

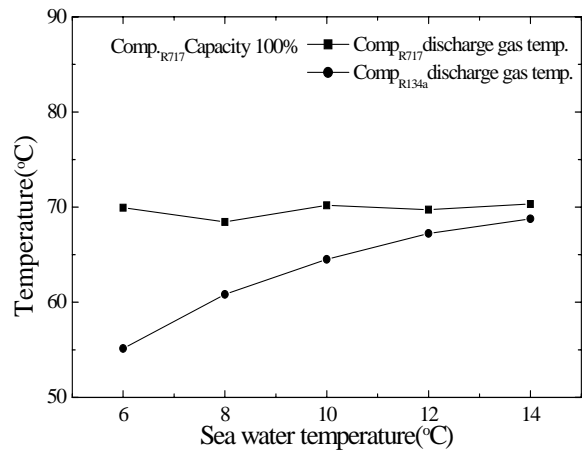


Fig. 7 Comp. discharge gas temp. and sea water temp. variations

것으로 나타났다.

Fig. 3은 각 사이클의 응축 및 증발온도 변화를 시간 경과에 따라 나타낸 것이다. 해수의 온도가 일정하므로, 저단 증발온도는 거의 변화 없으나, 저단 응축온도 및 고단 증발/응축 온도는 시간의 경과에 따라 모두 상승한다. 한편, 기동 후 시간 경과에 따라 캐스케이드 열교환기에서의 고단(R134a) 증발온도와 저단(R717) 응축 온도차가 초기 12°C에서 7°C로 줄어드는 것으로 나타났다.

3.2 난방 운전

전술한 바와 같이, 정상상태의 성능 파악을 위한 실험으로서, 해수의 온도와 저단 압축기의 부하율 변화에 따라 시스템의 특성을 고찰하였다.

Fig. 4는 해수 온도 변화에 따른 시스템의 COP

를 나타낸 것인데, 저단(R717) 압축기의 부하율이 83%이고, 해수온도가 10°C일 때의 성능계수를 기준으로 하여 기준과의 비로서 나타내었다. 해수 열원의 온도가 상승할수록 COP는 높아지는 것을 알 수 있다. 한편, 저단(R717) 압축기의 부하율이 66%일 때와 비교하여 부하율이 증가하면 시스템의 성능계수도 증가하는데, 부하율이 83%일 때에는 이를 100%로 증가시켜도 큰 차이는 나타나지 않았다.

Fig. 5는 해수 온도 변화에 따른 저단(R717) 증발/응축온도 및 고단(R134a) 증발/응축 온도 변화를 나타낸 것이다. 저단(R717) 압축기 부하율이 100%인 조건에서 해수의 온도가 15°C로 상승하면 저단(R717) 증발 및 응축 온도는 약 5°C 상승하였고, 캐스케이드 열교환기에서의 저단(R717)

응축온도와 고단(R134a) 증발온도 차는 약 9℃로 나타났다.

Fig. 6은 해수 온도 변화에 따른 난방능력 변화를 나타낸 것으로, 해수 온도가 상승할수록, 그리고 저단(R717) 압축기 부하율이 증가 할수록 난방능력이 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 해수 온도 변화에 따른 저단(R717) 압축기 토출 가스온도와 고단(R134a) 토출 가스온도 변화를 나타낸 것으로, 이들 둘의 차는 해수의 온도가 낮을 때 크고, 해수의 온도가 상승할수록 감소하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 해수(하절기 21~26℃, 동절기 3~16℃)가 갖는 열에너지를 히트펌프의 열원으로 이용하여 냉·온수를 제조하기 위한 연구로서, 시스템의 냉시동 특성과 해수 온도 및 부하율 변화에 따른 시스템의 성능변화를 실험적인 방법으로 고찰하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 초기 기동시에 저단(R717) 압축기 토출 가스온도가 고단(R134a) 압축기 토출 가스온도보다 높게 형성되며 부하측의 온도가 상승할수록 그 차이는 점점 감소하였다.

2. 난방 캐스케이드 운전시, 저단(R717) 압축기의 부하율 증가에 따라 난방용량이 증가한다. 한편, 저단(R717) 압축기의 부하율이 66%일 때와 비교하여 부하율이 증가하면 시스템의 성능계

수도 증가하는데, 부하율이 83%일 때에는 이를 100%로 증가시켜도 큰 차이는 나타나지 않았다.

3. 저/고단 토출 가스온도의 차는 해수의 온도가 낮을 때 크고, 해수의 온도가 상승할수록 감소한다. 그러므로, 해수의 온도가 매우 낮을 경우, 시스템 안전을 위하여 저단 토출가스의 과도한 온도 상승에 유의할 필요가 있다.

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