

하수처리수를 이용한 2단 압축 열펌프 시스템의 운전특성에 관한 연구

김 지 영, 백 영 진, 이 영 수[†], 장 기 창, 나 호 상

한국에너지기술연구원(KIER) 지열에너지연구센터

A Study on The Operation Characteristics of 2-Stage Compression Heat Pump using Treated sewage

Ji-Young Kim, Young-Jin Baik, Young-Soo Lee[†], Ki-Chang Chang, Ho-sang Ra

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

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

ABSTRACT: The treated sewage temperature is about 5°C lower in summer and 5~10°C higher in winter than ambient air. It can be used heat pump heat source and is good heat source on high performance of heat pump. In this study, to develop 100RT 2-stage compression heat pump use treated sewage water heat source and system applies to sewage disposal plant. Although heat pump is better performance, the large temperature difference between load and source makes the performance degradation of a heat pump. To solve this problem screw 2-stage compression is considered. The experiment was focused on the system operating performance variations over supply water and treated sewage water a temperature in the field. The results show that system of heating performance is higher than general heat pump and is enough to supply a hot water of 70°C

Key words: treated sewage(하수처리수), 2-stage compression(2단 압축), Heat pump(열펌프)

1. 서 론

하수처리수의 연중온도는 1월에는 10°C 내외이고, 8월에도 25°C 이하로서 열펌프 열원으로써 활용하기에 매우 유용한 온도차 미활용에너지이다. 국내에 243개소의 하수처리장에서 방출되는 하수처리수를 열펌프의 열원으로 이용하면 높은 효율로 지역에 열공급을 할 수 있으며 현재 국내에서는 온도차에너지를 이용한 지역 열공급 사업 추진 실적이 전무하나, 해외에서는 많은 보급사례가 보고되고 있다. 이중 하천수 및 하수를 이용

한 열공급 시스템이 35%를 차지하고 있으며 이처럼 높은 효율로 지역에 열공급이 가능하다면 막대한 양의 에너지 절감 효과를 볼 수 있을 것이다. 본 연구에서도 이러한 맥락으로 하수처리수를 열원으로 활용하는 고효율 열펌프 시스템 개발 및 이를 현장에 적용하여 건물의 냉·난방을 공급하는 실증플랜트 연구로서 대구지역 서부하수처리장에 열펌프 시스템을 적용하였다. 대구서부하수처리장은 처리구역면적이 44.73 km², 시설부지면적 337,000 m², 시설용량 520 천톤/일, 처리량이 493.3 천톤/일로 고도처리방법으로 하수를 처리하고 있으며 충분한 열원을 확보할 수 있다. 그러나 열펌프의 열원으로써 하수처리수의 온도조건은 하절기 냉방 운전시 열침으로 활용하기에 매우 적합하나 동절기인 경우 난방 및 급탕

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-860-3161; fax: +82-42-860-3133

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

을 위해서는 생산 온수의 온도가 50-60℃ 이상 되어야 할 경우 열원의 온도를 고려하면 결코 작지 않은 열원과 생산온도와의 온도차가 존재한다. 공급온도의 상승은 응축온도의 상승을 가져오며 또한 열원의 온도가 낮아지면 증발온도가 낮아져 결국 압축비가 증가하고 고압의 상승으로 체적효율의 감소 및 토출가스온도가 상승 이로 인한 윤활유의 열화 촉진 등 비가역적인 요소의 증가로 인해 전체시스템의 성능은 낮아진다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 고효율 2단 압축 열펌프 시스템 개발 및 현장 적용 통하여 실제 하수처리수를 이용한 2단 압축열펌프 성능특성 및 실 부하 운전특성에 대해 연구를 진행하였다.

2. 시스템 구성 및 현장 적용

2.1 2단 압축 열펌프 시스템 구성

본 현장에서 적용된 열펌프 시스템은 100RT급 용량으로써 고효율의 시스템 개발을 위해 스크류 압축기 2대를 사용한 2단 압축 시스템이다. 스크류 압축기는 고효율 저진동, 저진동, 저고장, 저소음이 특성으로 인하여 왕복동 압축기를 빠르게 대체하고 있으며 시스템의 1단 압축기는 독일 Bitzer社의 반밀폐형 트윈로터 콤팩트 스크류 압축기를 사용하였으며 내부에 오일 분리기를 내장하고 이코너마이저 기능과 이중용량제어 슬라이드 제어변을 채용하여 압축기를 개조하지 않고도 무단계 또는 4단계 용량제어(25%, 50%, 75%, 100%)가 가능하다. 또한 2단 압축기인 경우에도 이코너마이저 운전 및 4단계 용량제어가 가능한 개방형 트윈 스크류 압축기를 사용하였으며 별도로 오일분리기를 설치하였다.

2단 압축 열펌프 시스템은 2대의 압축기를 사용하는 시스템 특징으로 인해 냉난방 부하를 고려하여 냉방 운전시에는 1단 압축기만을 사용하며 난방시 공급온도에 따라 1단 난방 및 2단 난방을 선택적으로 할 수 있게 설계되어졌으며 부하 조건에 따라 자동적으로 압축기 용량조절이 가능하다. 이코너마이저인 경우 1단 냉방 및 난방시에만 작동되며 이코너마이저 적용에 따른 소비전력 증가로 인해 압축기 소비전력이 120kW이상인 경우 자동 차단되도록 설정하였다. 여기서

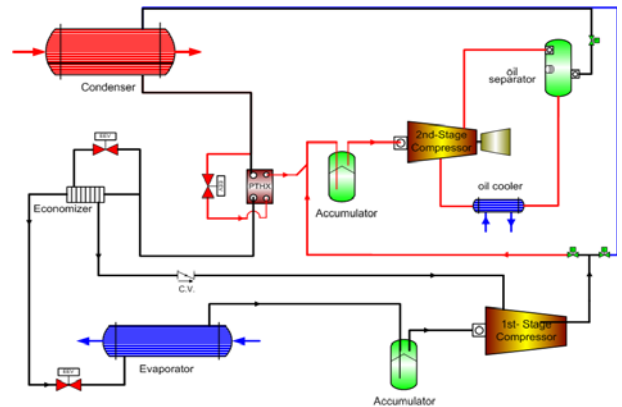


Fig. 1 2-stage compression heat pump system

이코너마이저란 스크류 압축기에 적용 할 수 있는 기술로써 응축기 유출액 일부를 팽창시킨 저온의 포화냉매를 응축기 유출 액냉매와 열교환시킨 후 스크류 압축기 내부로 분사하는 장치로써 응축기 유출 냉매의 과냉도를 증가시켜 냉방출력을 높이고 압축기 출구의 냉매온도를 떨어뜨려 압축일을 감소시킨다. 또한 시스템의 응축기에서 나온 고온의 액 냉매의 일부를 중각냉각기에서 팽창시켜 응축기의 과냉도를 증가시키고 팽창된 냉매는 1단측에 고온고압의 냉매가스와 섞여 2단 압축기에 흡입되게 된다. 이때 중간 냉각기에 설치된 팽창 밸브 개도는 고단 압축기 입구 과열도에 따라 조절되어진다. 이코너마이저 및 중간 냉각기, 주 팽창밸브는 입구의 압력과 온도를 측정하여 밸브의 개도를 PID제어하는 전자팽창밸브(EEV)를 사용하였으며 증발기와 응축기는 Shell & tube-type의 열교환기를 사용하였으며 응축기는 수액기의 기능을 병행한다. 시스템 작동유체는 HFC134a를 사용하였고 그 외 부속기기로 2단 압축기 오일 분리기, 오일 냉각기 등이 설치되어 있으며 오일냉각기는 2단 압축기 토출도가 80℃ 이상이면 오일 분리기로부터 압축기로 흡입되는 오일이 온도를 낮추는 역할을 한다. Fig. 1 은 2 단 압축 열펌프 시스템의 개략도이다.

2.2 2단 압축 열펌프 시스템 현장 적용

Fig. 2는 하수처리장 현장에 적용된 전체 시스템의 개념도로써 최종 방류 전 하수처리수를 판형열교환기를 사용하여 간접 방식으로 열원을 취득하고 2차 유체를 사용하여 열펌프로 공급된다. 냉난방 모드는 전환은 열펌프의 외부의 물회로

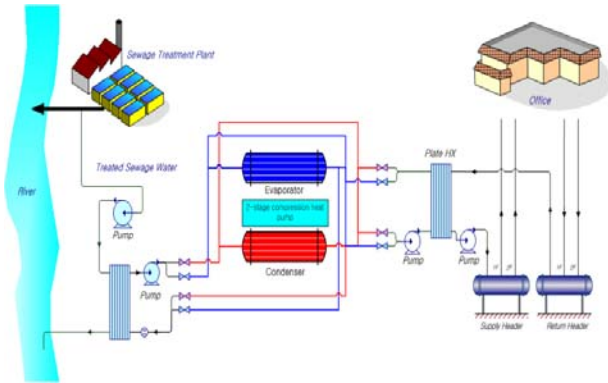


Fig. 2 Schematic diagram of system field application

밸브 조작을 통해 이루어지며 열펌프에 의해 생산되어진 냉온수는 판형열교환기를 통해 기존 공조 설비인 공급헤더로 공급되며 이를 통해 사무실의 팬코일 유닛트를 사용하여 냉난방이 이루어진다. Fig. 4는 현장에 설치된 시스템의 사진을 보여주고 있다.

3. 난방 운전 결과

시스템의 난방 운전 성능은 2단 운전시 공급온도에 성능 특성 및 1단 운전 및 2단 실부하 운전 에 따른 시스템 운전 특성에 대해 관찰 하였다.

Fig. 4은 2단 운전시 공급온도에 따른 난방용량을 나타낸 그래프로서 공급 온도가 증가 할수록 난방용량이 감가함을 알 수 있다. Fig. 5는 2단 운전시 공급온도에 따른 COP를 나타내고 있으며 열원측 온도가 12.8°C이고 생산 온도가 6

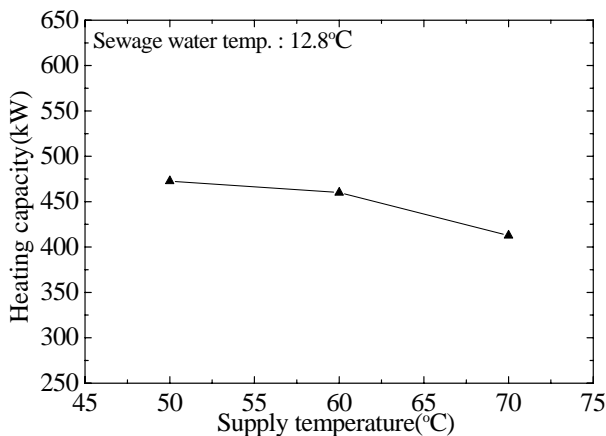


Fig. 4 Heating capacity with respect to supply temp.



Fig. 3 Photograph of system

0°C인 경우 COP는 3.11을 나타내고 있으며, 또한 2단 운전인 경우 생산 온도가 60°C인 경우에도 기존 열펌프 대비 높은 COP는 유지함을 알 수 있다. 또한 기존 열펌프로 생산하기 어려운 70°C 온수 생산이 가능함을 알 수 있다.

Fig. 6는 실부하 단단 난방 운전시 부하측 공급 및 리턴 온도를 나타낸 하루 데이터로서 2007년 12월경에 측정된 데이터이다. 열펌프에 설정 온도는 48°C로 설정하였으며 시스템 on/off는 리턴온도가 설정치 이하로 측정되면 시스템의 제기동이 되도록 설정되었으며 그래프에서 보이듯이 부하에 따라 20-30분 간격으로 시스템의 on/off를 반복하는 것을 알 수 있다. 초기 기동시 높은 부하율로 압축기가 작동하여 55°C까지 공급온도를 상승시킴을 알 수 있었으며 약 53°C 전후에서 시스템이 정지하고 47°C 전후에서 제기동 하는

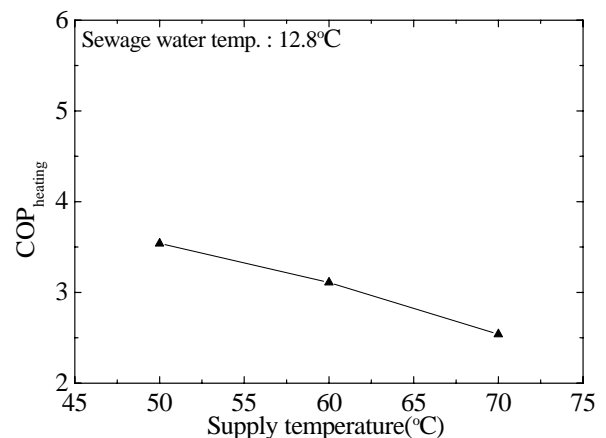


Fig. 5 COP with respect to supply temp.

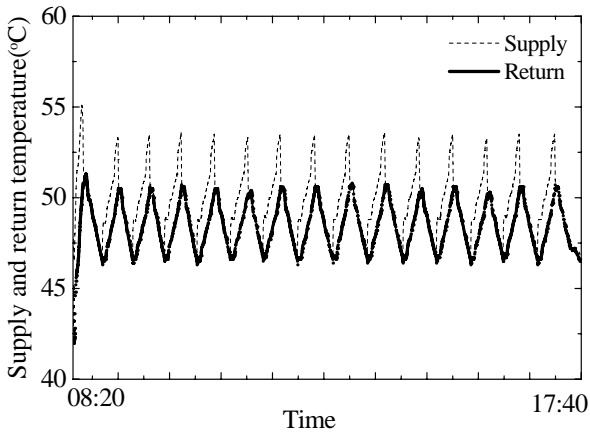


Fig. 6 Supply and return temperature variations over time

것을 알 수 있다.

Fig. 7은 실부하 단단 난방 운전시 1단 압축기의 소비전력을 나타낸 것으로 초기 기동 후 소비전력이 점차 증가함을 알 수 있으며 시스템의 정지하기 전 펌프다운 시 소비전력이 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 2007년 3월경에 측정된 데이터로써 실부하 2단 난방 운전시 공급온도와 리턴온도를 나타낸 그래프로써 약 63°C로 건물에 공급하고 리턴 온도가 57°C에서 다시 시스템이 재기동하는 것을 알 수 있다. Fig. 9은 1단 및 2단 압축기의 토출온도를 나타낸 그래프로써 고온수를 생산시 응축온도의 증가는 토출온도의 증가를 동반한다. 본 시스템은 이러한 문제를 해결하고자 2단 압축기의 토출 온도를 제어하기 위해 2단 압축기와

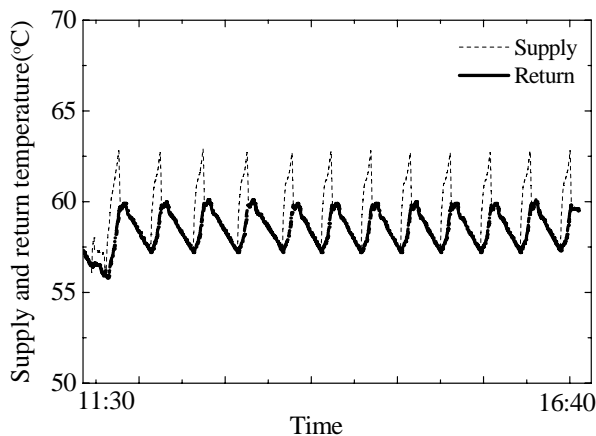


Fig. 8 Supply and return temperature variations over time

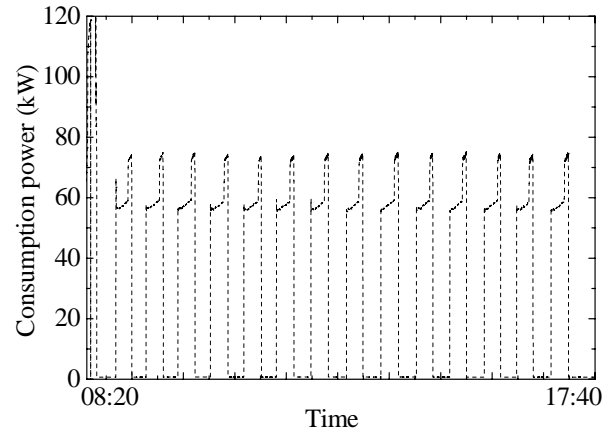


Fig. 7 Consumption power variations over time

오일 분리기 중간에 오일 냉각기를 설치하였으며 2단 압축기 토출온도가 80°C 이상이면 오일 냉각기에 냉수를 공급하여 기기의 파손을 차단하고 시스템의 신뢰성을 확보도록 설계하였다. 이러한 제어를 통해 2단 압축기 토출온도가 80°C 이하로 유지되는 것을 알 수 있으며 2단 압축기에 토출온도가 낮아짐에 따라 1단 압축기 출구 온도 또한 낮아짐을 알 수 있다. Fig. 10은 오일 냉각기 내부에 흐르는 압축기 오일의 입·출구 온도를 나타낸 그래프로써 80°C 전후의 오일이 40°C 전후로 낮아지는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 하수처리수를 열원으로 하는 100RT급 고효율 2단압축 열펌프 시스템의 개발 및 하

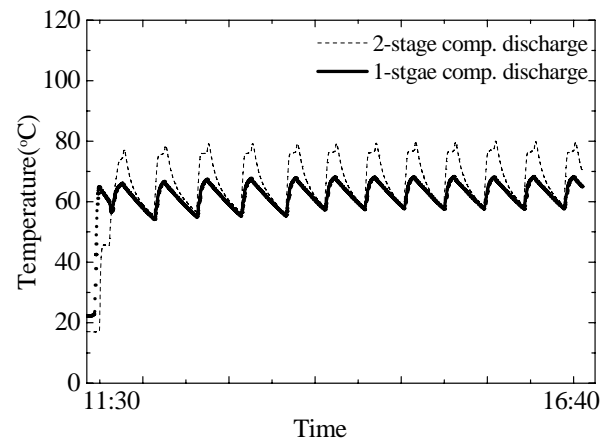


Fig. 9 1 and 2-stage Compressor discharge temperature variations over time

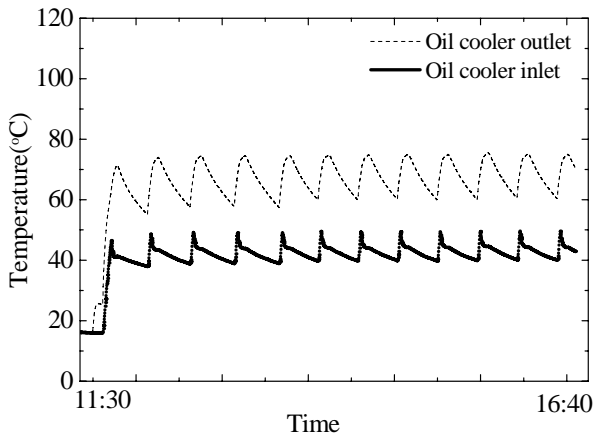


Fig. 10 Oil cooler inlet and outlet temperature variations over time

수처리장에 설치 및 현장 운전을 수행하였다.

2단 압축 열펌프 시스템은 고온수 생산을 위한 운전인 경우 생산 온도가 60°C인 경우 COP는 3.11 유지함을 알 수 있으며 기존의 열펌프로 생산하기 어려운 70°C 온수 생산이 안정적으로 가능함을 알 수 있었다.

하수처리수를 이용한 실부하 난방 운전인 경우 단단 및 2단 운전의 안정적으로 운전이 가능함을 알 수 있었으며 소비전력인 경우 펌프다운시 급격히 증가하였다. 또한 2단 운전의 안정성 및 신뢰성 확보를 위한 오일 냉각 제어의 중요성을 인식 할 수 있었으며 시스템의 성능에 제한되지 않는 범위에서 적절한 제어가 필요함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 21세기 프론티어 연구 개발사업인 이산화탄소 저감 및 처리기술 개발사업단(과제번호 BB2-101)의 지원에 의해 수행

되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Y.S. Lee, J.R Kim, K.C. Chang, W.H. Lee, H.S. RA, Y.J. Baik, 2004, Performance Test of 2-Stage Heat Pump System using River Water as a Heat Source, Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, 2004 Summer Conference, pp. 1288~1293.
2. J.R. Kim, Y.S. Lee, H.s. Ra, Y.J. Baik, 2005, Research on Performance Test of 2-Stage Heat Pump System using River Water as a Heat Source, Journal of The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol 35, pp. 214~219.
3. Y.S. Chang, Y.C. Lee, Y.G. Kim, 2003, Part-Load Performance Test of a Screw Chiller with Economizer using R22 and R407C, Journal of The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol 15, No. 15, pp. 902-909.
4. J.H. Ha, Y.C. Kim, J.M. Choi, 1999, Experimental study on the superheat control of the vairable speed heat pump, Proceedings of the SAREK winter annual conference pp. 527-533
5. D. S. Young, G. B. Lee, M. S. Kim, Y. M. Cho, W. H. Lee, Y. J. Hwang, B. Y. Chung, 2004, A Study on the Capacity of Variable Speed Vapor Compressor System using superheat at the Compressor Discharge Proceedings of the SAREK winter annual conference pp. 552-547