

하수열원이용 2단 압축식 열펌프시스템

도시지역내 미활용에너지로서 하수처리수가 대량으로 부존하고 있으며 이를 열원으로 2단 압축식 열펌프시스템을 사용함으로서 건물에너지 절약방안을 소개하고자 한다.

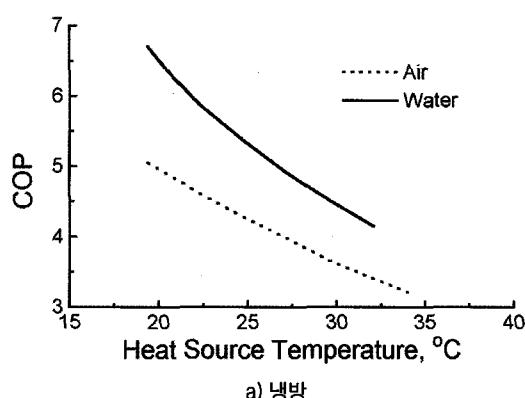
이영수 / 에너지관리부문 위원장
한국에너지기술연구원(yslee@kier.re.kr)

기술의 개요

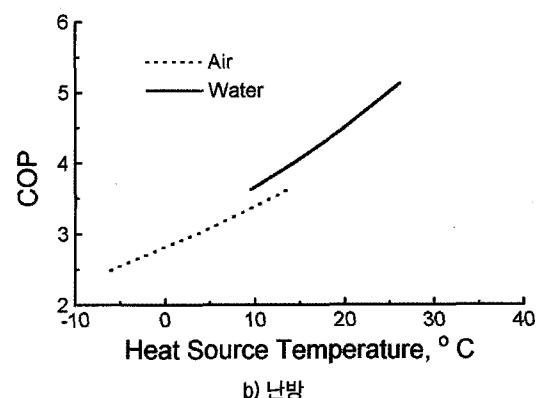
하수처리수의 수온은 지역에 따라 다소 차이는 있으나 통상 하절기에는 $20 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 로 대기보다 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 정도 낮고, 동절기에는 $10 \sim 13^{\circ}\text{C}$ 로 대기보다 10°C 정도 높게 나타나 동절기에는 증발기의 열원으로, 하절기에 응축기의 냉각열원으로 이용하면 공기를 열원으로 한 열펌프에 비해 효율이 더 높은 경제적인 특징을 지니고 있다. 또한 하수처리수는 유량이 풍부하고 안정적이기 때문에 우수한 열원으로 활용할 수 있다. 열펌프의 성능계수는 냉난방용의 발생 온열량 혹은 제거 냉열량에 대하여 냉난방을 행

하기 위해 투입된 전기에너지(열량단위)의 비로 나타낸다. 따라서 냉난방용 열수요가 같다면 성능계수가 클수록 필요한 전기에너지가 적게 소모되어 경제적이므로, 성능계수 값은 냉난방 효율의 기본지표로 활용된다. 그림 1은 수열원 및 공기열원 열펌프의 성능계수의 일례를 나타낸 것으로 이 그림에서 보듯이 열펌프의 성능계수 값은 열원온도가 같다면 공기열원에 비해 수열원의 경우가 높으며, 또한 냉방시에는 열원온도가 낮을수록, 난방시에는 열원온도가 높을수록 성능계수 값이 높게됨을 알 수 있다.

따라서 하수의 온도는 여름철에는 대기온도보다 낮기 때문에 이를 냉각열원으로 하여 열펌프에 의해

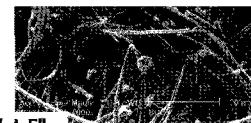


a) 냉방



b) 난방

[그림 1] 공기열원과 수열원 열펌프의 성능계수 비교



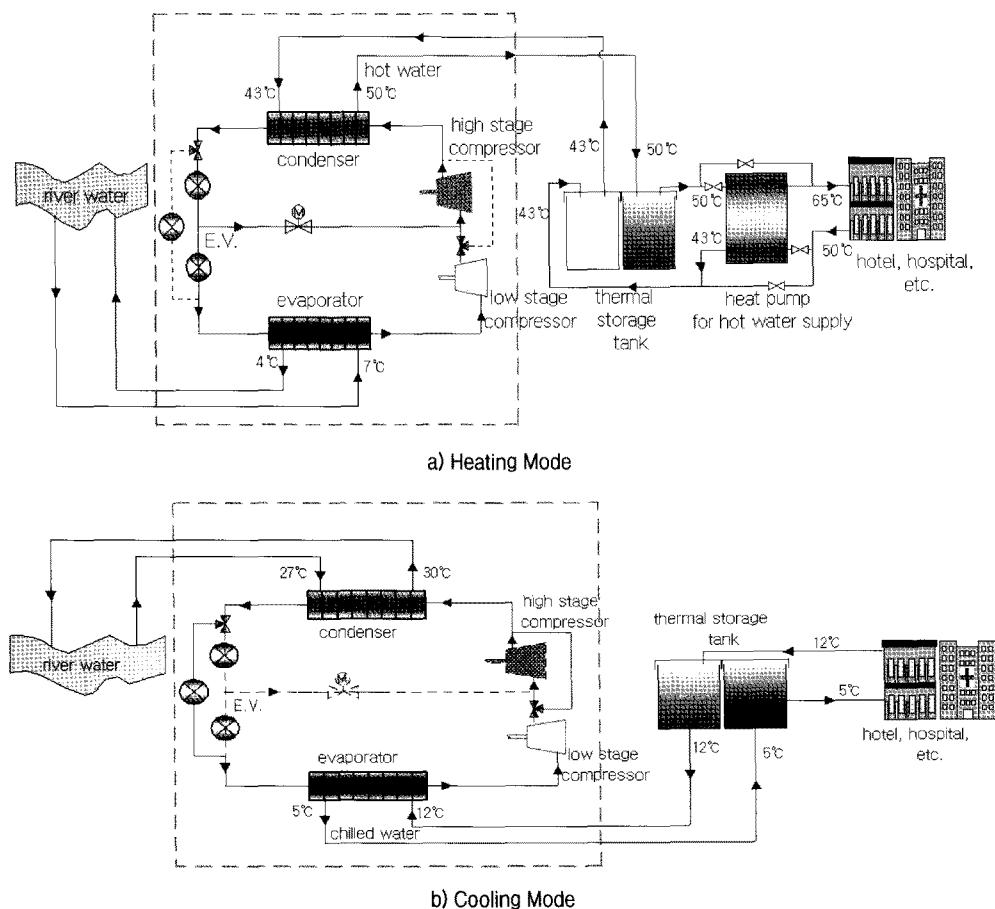
냉방하면 대기를 열원으로 한 열펌프나 기존의 냉동기 방식보다도 고효율로 냉방에 이용할 수 있다. 또한 겨울철에는 대기온도보다 높기 때문에 이를 가열 열원으로 한 열펌프는 고효율로 난방운전이 가능하므로, 하수를 열원으로 이용하면 이용하지 않는 경우에 비해 고효율로 냉난방이 가능하게 된다.

하수를 이용한 냉온열시스템 개발을 위한 시스템 개략도를 그림 2에 나타내었다.

기술의 필요성

급변하는 세계정세에 농동적으로 대처하고 산업화의 확산으로 에너지자원의 고갈 및 예상되는 기후변

화 등 심각한 환경변화에 대응하기 위해서는 1차 에너지의 사용을 최대한 줄이면서 환경친화적인 산업구조의 형태를 갖는 에너지이용기술 개발 및 도입이 필수 불가결하다. 우리나라는 경제성장에 따라 에너지 소비량, 수입액 및 CO_2 배출량이 꾸준히 증가하는 추세이나 에너지소비 증가율은 다소 둔화되고 있는 실정이다. 에너지수요는 2000년부터 2006년 동안 연평균 약 3.7%의 지속적인 증가율을 보이고 있으며, 기후변화협약(교토의정서)에 의거 우리나라는 2차 공약기간중(2013 ~ 2017) 온실가스 감축의무부담이 가시화될 전망이다. 2005년 IEA보고서에 의하면 이산화탄소 배출량은 세계 10위이며 연평균 4.7%의 증가율을 보이고 있다. 또한 에너지소비량도



[그림 2] 하수열원이용 2단압축 열펌프시스템 개략도

세계 10위 수준으로 감축의무를 부담하는 경우 산업·경제활동에 치명적일 것으로 예상된다. 따라서 에너지이용 효율화는 매우 중요한 과제이다.

이를 위하여 대도시 지역이나 공업단지에서 현재 발생되고 있는 다양한 유형의 미활용에너지를 회수하여 재활용하는 것은 에너지절약뿐만 아니라 환경 개선을 위하여 필히 개발이 시급한 분야이며, 특히 도시지역은 인구 및 산업이 밀집된 곳으로 에너지 사용밀도가 매우 높고 환경오염이 심각한 지역으로 도시 지역에서 미활용되고 있는 각종 에너지를 회수하여 인근지역의 냉난방 및 급탕용 열원으로 사용하는 것은 경제성이 매우 높을 것으로 사료된다. 이와 같이 대규모 열수요처 부근에 미활용에너지가 존재할 경우 미활용에너지 이용기술을 네트워크하여 지역열공급으로 활용할 경우 그 효과는 매우 클것으로 판단된다.

특히 대도시 지역내 미활용에너지로서 하수처리수가 대량으로 부존하고 있으며 부존량 조사결과 연간 36,000 Tcal/년이며, 이 열량은 2006년도 국내 총에너지 소비량의 약 2.1%, 가정 및 상업부문 에너지소비량의 9.7%를 차지하는 막대한 양이다.

국내적용 사례

2007년에 대구시 서부하수처리장에 설치된 하수처리수 열원이용 시스템은 국내 최초의 스크류 2단 압축 방식을 적용하고 있으며, 적용대상 건물은 지하 1층, 지상 2층 규모로, 대구광역시의 환경시설공단과 서부하수처리장의 관리사무소가 입주해 있다. 건물의 연면적은 3,599.7 m²로서 지하 1층은 기계실과 체력단련 및 휴게실 등으로 사용하고, 지상 1층은 서부하수처리장 관리사무소이며, 지상 2층은 환경시설공단이 위치하고 있다.

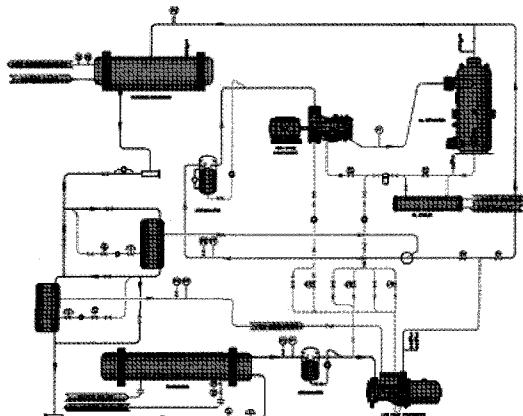
하수처리수를 이용한 냉온열제조시스템 개발을 위한 것으로서 그림 3에 열펌프시스템의 개략도를 나타내었다. 1단 압축기는 독일 Bitzer사의 반밀폐형 스크류 압축기를 사용하였으며 1단 압축기에는 이코노マイ저 기능과 이중용량제어 장치가 있어 압축기를 개조하지 않고도 무단계 또는 4단계 용량제어가 가능하다. 또한 2단 압축기인 경우도 마찬가지이며 개방형 스크류 압축기를 사용하였다. 증발기와 충축기

는 Shell & Tube 열교환기를 사용하였으며 응축기에서 나온 고온의 액냉매 일부를 중간냉각기에서 팽창시켜 응축기의 과냉도를 증가시키고 팽창된 냉매는 1단축에 고온고압의 냉매가스와 섞어 2단 압축기에 흡입하게 된다. 이때 중간냉각기에 설치된 팽창밸브 개도는 고단 압축기 입구 과열도에 따라 조절되어지며, 팽창밸브는 입구의 압력과 온도를 측정하여 밸브의 개도를 PID제어하는 전자팽창밸브(EEV)를 사용하였다. 시스템의 작동유체는 HFC134a를 사용하였고 그 외 부속기기로 수액기와 오일분리기, 오일쿨러 등이 설치되어 있다. 이 시스템은 하절기 및 동절기의 경우에 각각 5°C 및 50°C 정도의 냉수 및 온수를 얻도록 구성하였다.

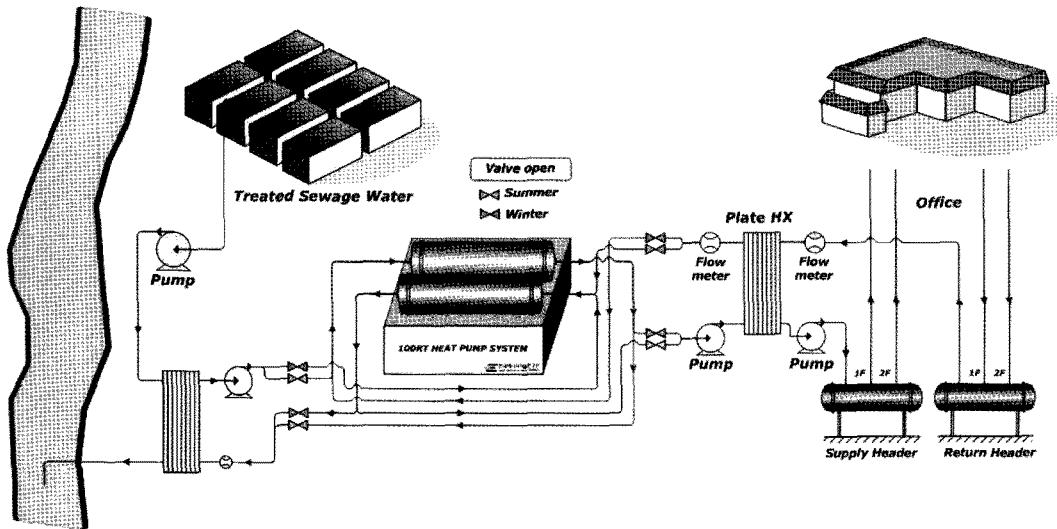
또한 그림 4는 현장에 적용된 시스템의 개념도로써 하수처리수를 판형 열교환기를 사용하여 간접방식으로 열원을 취득하고 2차 유체를 사용하여 열펌프시스템으로 공급되어지며 냉난방 모드는 열펌프의 외부 물회로 밸브조작에 의하여 이루어진다. 열펌프시스템에 의해 생산되어진 냉온수는 판형열교환기를 통해 기존 공조설비인 공급헤더로 공급되며 이를 통해 사무실의 팬코일 유니트를 사용하여 냉난방이 이루어진다.

주요 특징은 다음과 같다.

- 2단 스크류 압축시스템 적용(설계냉방용량: 382 kW, 설계난방용량: 468 kW)
- 넓은 운전 범위 : 냉방, 난방 및 고온난방(2단압축) 모드 지원



[그림 3] 100 RT급 2단압축 열펌프시스템 개략도



[그림 4] 대구 서부하수처리장 열펌프시스템의 적용 개념도

- 열펌프 기술 분야 국내 최고수준인 65°C 온수 생산 가능
- 오존층을 파괴하지 않는 친환경냉매(HFC-134a) 적용
- 인터쿨링 및 이코노마이징 등을 이용한 성능 향상 기술 적용
- 25 ~ 100% 용량 제어 및 실시간 모니터링 지원

기대효과

주요 활용분야로는 단위건물(중·대형 상업용 건물)의 냉난방 및 금탕은 물론, 신도시/행정도시/뉴타운의 지역냉난방 등에 적용 가능하며, 향후 경인

운하 건설시 운하 인근의 도시지역 냉난방에 활용이 가능하다. 서울시에서도 하수를 열원으로한 냉난방 공급에 관심이 매우 크며, 서울시 친환경에너지 기본계획의 일환으로 서남하수처리장의 하수열을 이용한 열펌프 플랜트를 구성하여 강서지구에 공급할 계획을 가지고 있으며, 이미 타당성 조사를 검토한 바 있다. 아마도 1년 이내에 가시화될 전망이다.

또한 국내 243개소 하수처리장의 미활용에너지 부존량은 36,000 Tcal/yr이며, 이중 20%만 이용한다고 가정하면, 연간 220만톤의 CO₂ 저감효과와 원유 528만 배럴에 해당하는 막대한 양을 절감할 수 있다. ⑧