

하수열원을 이용한 대구시 서부하수처리장 지역열공급시스템 실증 연구

하수처리수를 이용한 지역열공급 사례를 소개하고자 한다.

이 영 수

한국에너지기술연구원 지열에너지연구센터 (yslee@kier.re.kr)

서론

급변하는 세계정세에 능동적으로 대처하고 산업화의 확산으로 에너지자원의 고갈 및 예상되는 기후변화 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 CO₂ 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 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 환경개선을 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 클 것으로 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. 하수처리수의 수온은 지역에 따라 다소 차이는 있으나 통상 하절기에는 20 ~ 25℃로 대기보다 5 ~ 10℃ 정도 낮고, 동절기에는 8 ~ 13℃로 대기보다 10℃ 정도 높게 나타나 동절기에는 증발기의 열원으로, 하절기에는 응축기의 냉각열원으로 이용하면 공기를 열원으로 한 열펌프에 비해 효율이 더 높은 경제적 특징을 지니고 있다. 하수처리수는 유량이 풍부하고 안정적이기 때문에 우수한 열원으로 활용될 수 있으며, 특히 우리나라와 같이 동절기 외기온도가 낮은 지역에서 공기열원 열펌프는 용량부족 및 착상문제가 발생하므로 미활용에너지인 하수처리수를 열원으로 사용하면 이러한 문제점을 해결할 수 있으므로 향후 하수열원을 이용한 열펌프시스템의 파급효과는 매우 높을 것으로 판단된다.

대규모 열수요처 부근에 온도차에너지가 존재할

경우 이 온도차에너지를 수열원 열펌프의 열원으로 이용하면 지역열공급용으로 활용이 기대되고 있고, 국내에는 아직 온도차에너지를 이용하는 지역열공급사업이 추진된 실적이 없지만 해외에서는 83기가 보급되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 하수처리수를 열원으로 하는 스크류 2단 압축 열펌프 시스템을 활용하여 건물의 냉·난방 열공급을 위한 실증플랜트 개발 연구로서 대구지역 하수처리장중 두번째로 규모가 큰 서부하수처리장을 미활용에너지 이용기술의 실증사이트 선정 및 적용 시스템의 타당성을 검토하였다.

대구 서부하수처리장은 대구광역시 달서구 대천동에 위치하고 있으며, 처리구역면적이 44.73 km², 시설부지면적 337,000 m², 시설용량 및 처리량이 520 천 톤/일, 493.3천 톤/일로 고도처리방법으로 하수를 처리하고 있다. 서·남·달서구·달성군 화원·다사지역에서 유입되는 하수 및 위생처리장의 분뇨등을 통합 처리하여 대명천을 거쳐 낙동강으로 방류하고 있다. 입주건물은 대구광역시의 환경시설공단과 서부하수처리장의 관리사무소가 입주해있으며, 지하 1층, 지상 2층으로 되어있다. 건물의 연면적은 3,599.7 m²로서 지하 1층은 기계실과 체력단련 및 휴게실 등이 존재하고, 지상 1층은 서부하수처리장 관리사무소이며, 지상 2층은 환경시설공단이 위치하고 있다. 건물의 냉·난방은 1톤 용량의 증기보일러(경유 사용)로 난방과 온수급탕을 하며, 냉방은 120 RT의 전기식 왕복동 냉동기를 가동하고 있었고, 동절기에는 하수처리장의 슬러지를 소각시켜서 발생하는 증기의 일부를 난방에 활용하기도 하였다.

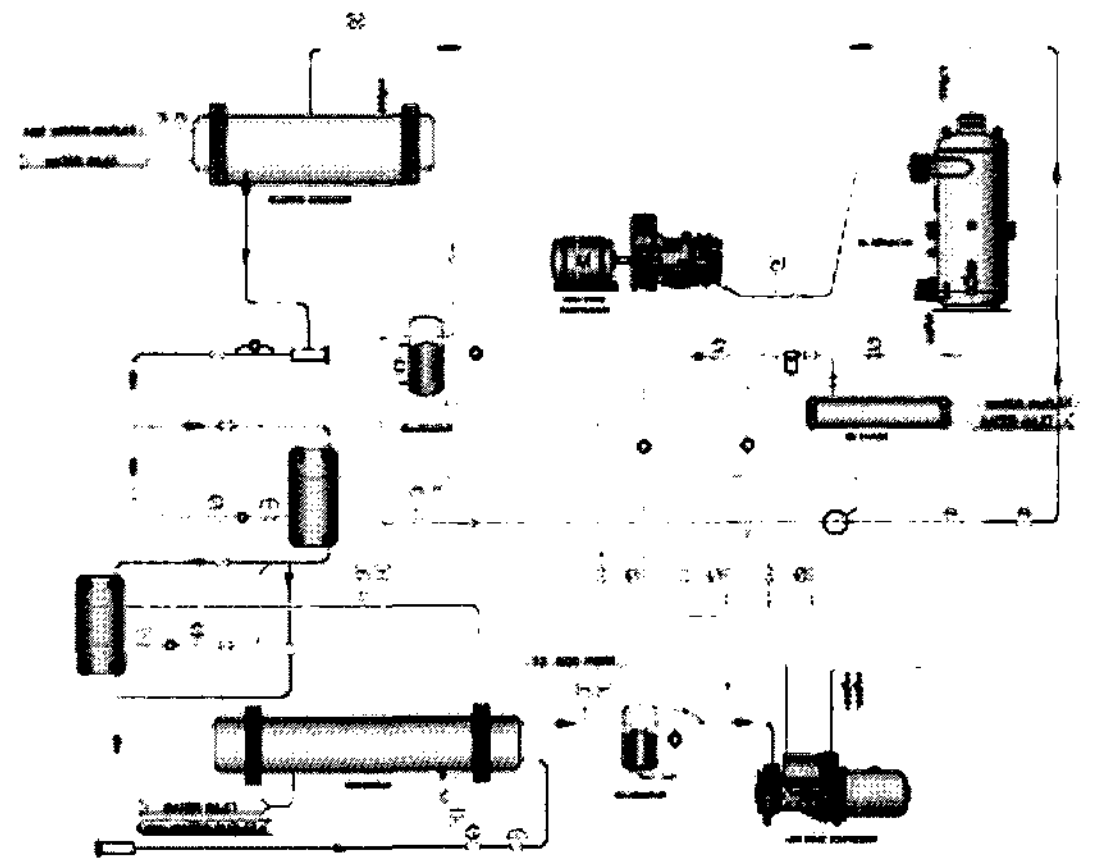
대구 서부하수처리장의 하수처리량을 연중 월별로 조사한 결과를 보면 계절별로 약간의 변화가 있으며 하절기에는 물 소비량이 증가하기 때문에 동절기에 비해 약 20% 이상의 하수처리량이 많은 것으로 나타나고 있다. 또한 하수의 연중온도는 가장 추운 1월에는 10℃ 내외이고, 가장 더운 8월에도 25℃ 이하로서 열펌프의 열원으로 활용하기에 매우 유용함을 알 수 있다. 이러한 열원의 조건을 살펴보면 열펌프의 2차 유체로서의 하수의 온도조건은 하절기 냉방운전인 경우 매우 우수하다고 판단되나, 동절기 난방운전의 경우 원활한 난방 및 급탕을 위해서는 생산 온수의 온도가 적어도 50 ~ 60℃ 이상은 되어야한다.

결국 열원의 온도를 고려하면 결코 작지 않은 온도차가 존재하며, 이는 열펌프 성능저하의 주요 원인이 된다. 열펌프 사이클에서 보면 고온수의 온도가 상승으로 인해 응축온도의 증가를 가져오며 이는 고압의 상승인하여 압축기에 압력비가 증가하고 체적효율의 감소와 토출가스온도가 상승 및 이로 인해 윤활유의 열화가 촉진되는 등 사이클상에 비가역적인 요소의 증가로 인해 전체 시스템의 성능이 낮아진다. 이를 최소화하기 위한 방법으로, 본 연구에서는 2단 압축(2-stage compression)을 고려하였다.

스크류 2단 압축 열펌프 시스템 구성 및 설치

스크류 2단 압축 열펌프

그림 1은 본 연구에서 적용된 100 RT급 열펌프 시스템의 개략도를 나타낸 것이다. 1단 압축기는 독일 Bitzer社의 반밀폐형 트윈 로터 콤팩트 스크류 압축기를 사용하였으며 1단 압축기에는 이코노마이저 기능과 “이중용량제어” 슬라이드 제어변을 채용하여 압축기를 개조하지 않고도 무단계 또는 4단계 용량제어(25%, 50%, 75%, 100%)가 가능하다. 또한 2단 압축기 인경우도 이코너마이저 운전 및 4단계 용량제어가 가능한 개방형 트윈 스크류 압축기를 사용하였다. 증발기와 응축기는 Shell & tube-type의 열교환기를 사용하였으며 또한 응축기에서 나온



[그림 1] 100 RT급 스크류 2단압축 열펌프 개략도



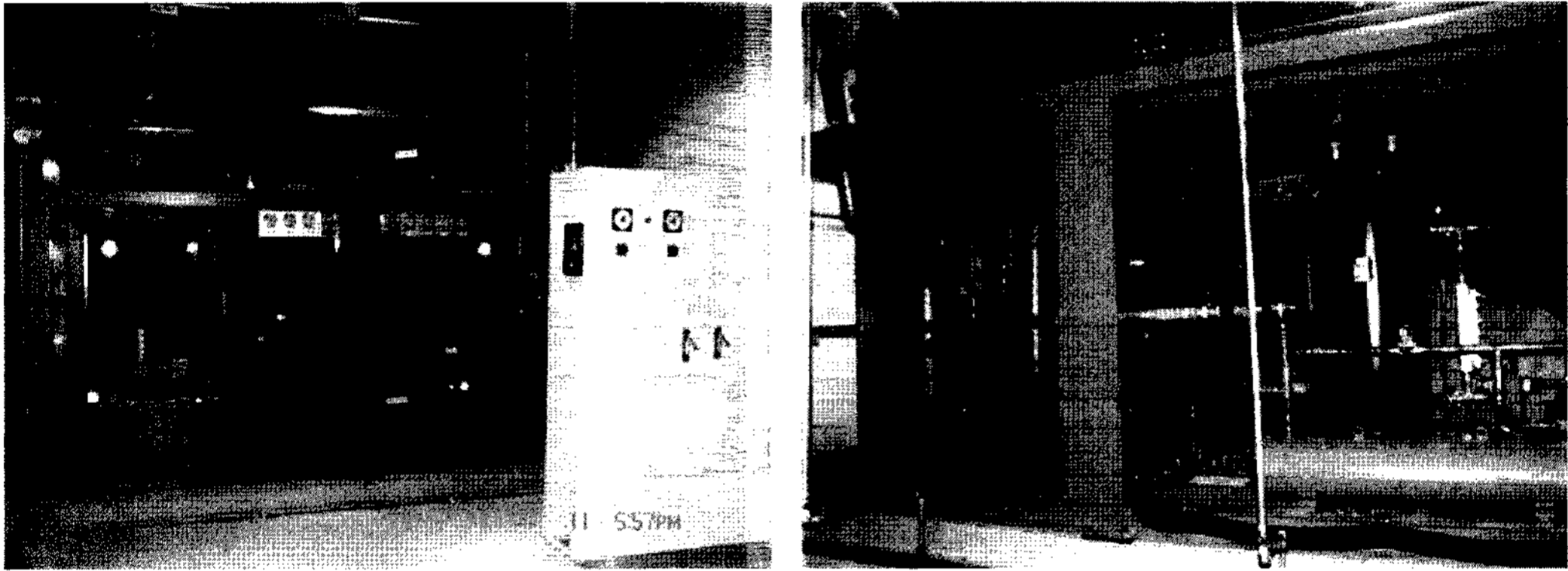
고온의 액 냉매의 일부를 증각냉각기에서 팽창시켜 응축기의 과냉도를 증가시키고 팽창된 냉매는 1단 측에 고온고압의 냉매가스와 섞어 2단 압축기에 흡입되게 된다. 이때 중간 냉각기에 설치된 팽창밸브 개도는 고단 압축기 입구 과열도에 따라 조절되어 지며, 팽창밸브는 입구의 압력과 온도를 측정하여 밸브의 개도를 PID제어하는 전자팽창밸브(EEV)를 사용하였다. 시스템 작동유체는 HFC134a를 사용하였고 그 외 부속기기로 수액기와 오일 분리기, 오일 쿨러 등이 설치되어있다.

그림 2는 실제 설치되어진 열펌프시스템의 사진

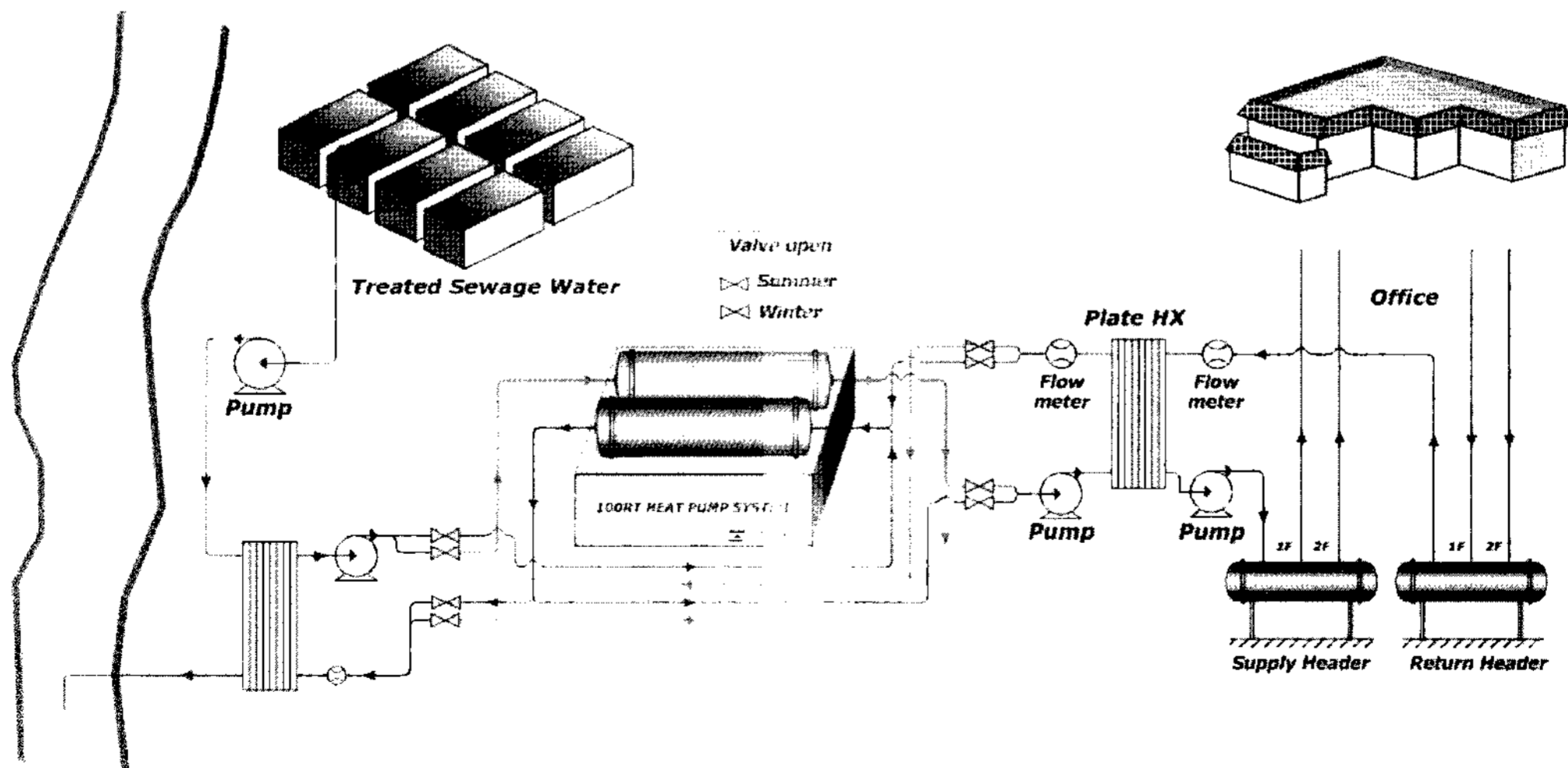
이다. 100 RT급 실증 시스템 설치를 위한 현장 조건을 분석하여, 현장 상황에 맞는 시스템 분할 설계 및 조립 방안을 마련하였으며, 이에 따라 지상에서 가능한 제작 공정을 우선적으로 수행하였으며, 이후 분할 반입 및 현장조립의 순서로 시스템 현장 설치를 완료하였다.

시스템 구성 및 적용

그림 3은 현장에 시스템 적용 개념도로써 하수처리수를 판형 열교환기를 사용하여 간접 방식으로 열원을 취득하고 2차 유체를 사용하여 열펌프로 공



[그림 2] 100 RT급 스크류 2단압축 열펌프



[그림 3] 시스템 적용 개념도

급되어지며 냉난방 모드는 열펌프의 외부의 물회로 밸브 조작을 통해 이루어진다. 열펌프에 의해 생산되어진 냉온수는 판형열교환기를 통해 기존 공조설비인 공급헤더로 공급되며 이를 통해 사무실의 팬코일 유닛을 사용하여 냉난방이 이루어진다.

그림 4는 실제 시스템 현장 설치 사진으로써 열펌프의 냉온수를 건물에 공급하는 판형열교환기 설치사진 및 열펌프 전체 설치 사진을 나타낸 것이다.

하수열원 열펌프 시스템의 성능분석

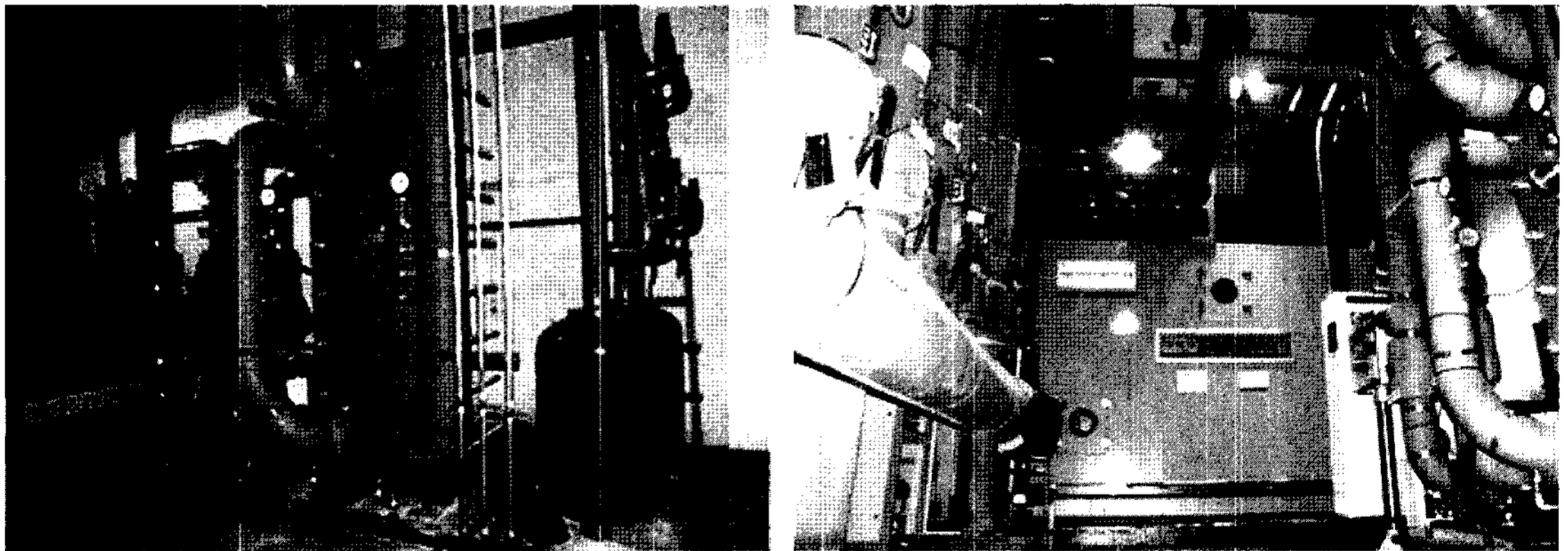
시스템의 성능의 분석은 표 1에 나타난 바와 같이 1단 운전인 경우 공급온도와 압축기 부하율에 따른 성능 분석을 2단 운전인 경우 고온의 공급온도에 따른 성능 분석을 수행하다. 1단 운전인 경우 하수처리수의 온도가 약 20℃ 정도인 2007년 10월경에 수행하였으며, 2단 운전인 경우 하수처리수의 온도가 약 12℃ 정도인 2008년 1월경에 수행하였다.

그림 5는 공급온도에 따른 냉방용량을 나타낸 것으로 공급온도가 증가할수록 냉방용량이 증가함을

알 수 있으며 압축기 부하율이 증가 할수록 냉방용량도 확연히 증가함을 알 수 있다. 그림 6은 공급온도에 따른 냉방 COP를 나타낸 것으로 소비전력인 경우 압축기 소비전력 만을 이용하여 계산한 COP이며 전체 COP는 약 4~5.3을 나타내고 있으며 공급온가 증가할수록 증발온도가 높아지며 COP 또한 상승함을 나타내고 있다.

그림 7은 공급온도에 따른 난방용량을 나타낸 것으로 공급온도가 증가할수록 냉방용량이 조금 감소함을 알 수 있으며 압축기 부하율이 증가 할수록 냉난과 같이 난방용량도 증가함을 알 수 있다. 그림 8은 공급온도에 따른 난방 COP를 나타낸 그래프로써 전체 COP는 약 3.5~5.3을 나타내고 있으며 공급온가 증가할수록 응축 온도가 상승하여 COP가 낮아지는 것을 알 수 있다.

그림 9는 2단 운전시 공급온도에 따른 난방용량과 그림 10은 COP를 나타내고 있다. 열원측 온도가 12.8℃이고 생상 온도가 60℃인 경우 COP는 3.11를 나타내고 있으며 또한 공급온도 70℃가 가능함을 알 수 있다.



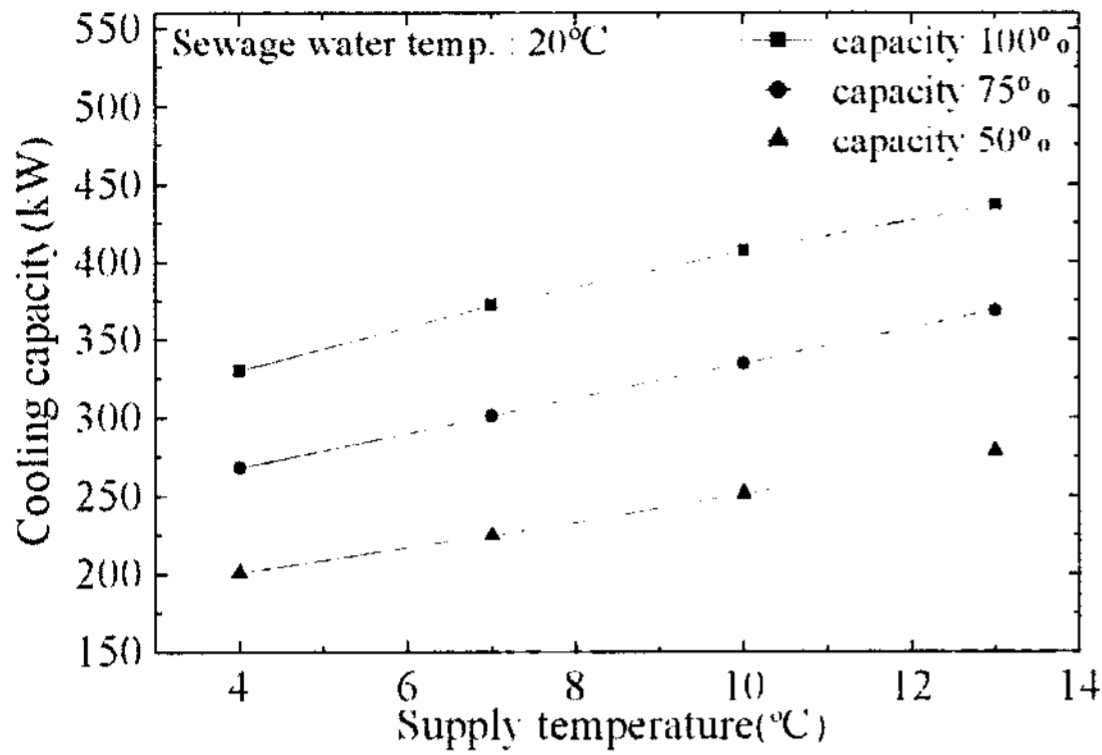
[그림 4] 시스템 현장 설치 사진

<표 1> 열펌프 시스템 운전조건

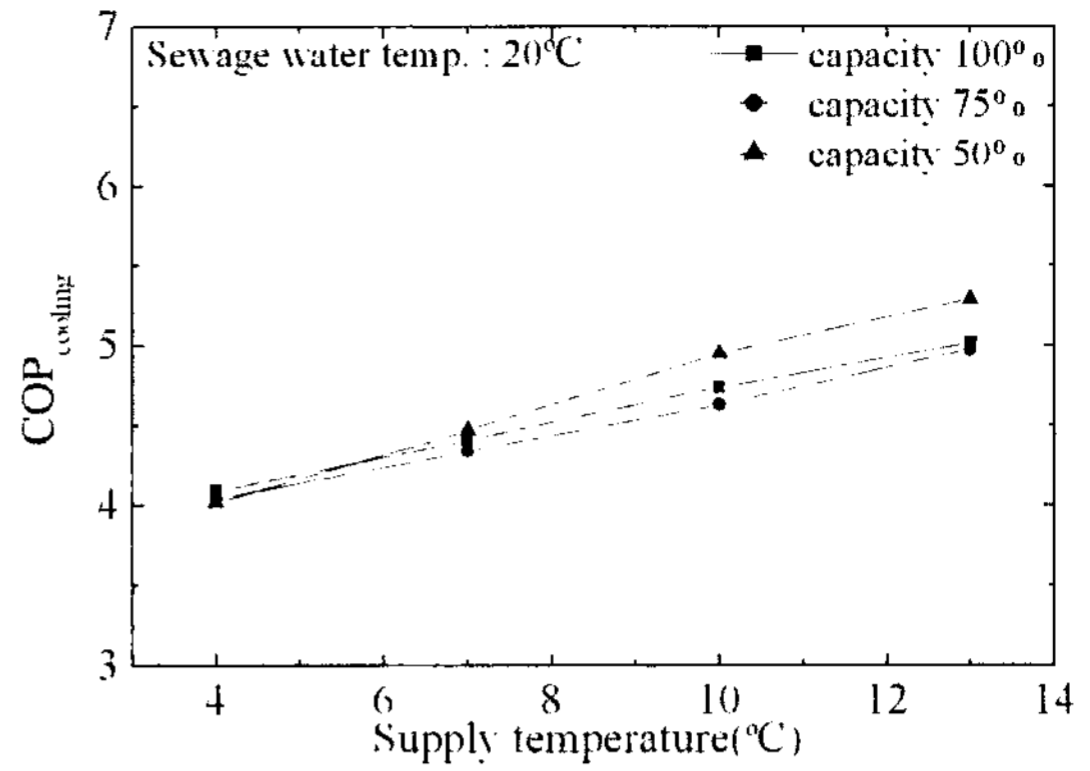
구분	운전 조건		
1단 운전	냉방	공급 온도: 4℃, 7℃, 10℃, 13℃	압축기 부하율: 50%, 75% 100%
	난방	공급 온도: 47℃, 50℃, 53℃, 56℃	
2단 운전	난방	공급 온도: 50℃, 60℃, 70℃	ECO OFF



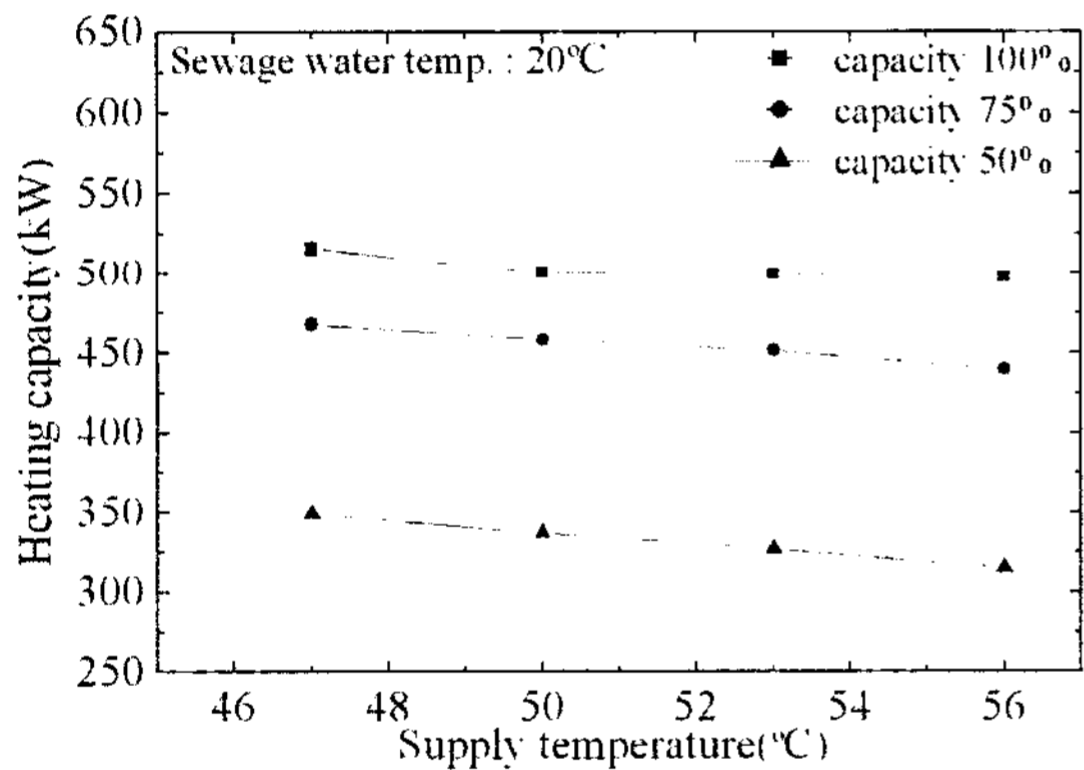
하수열원을 이용한 대구시 서부하수처리장 지역열공급시스템 실증 연구



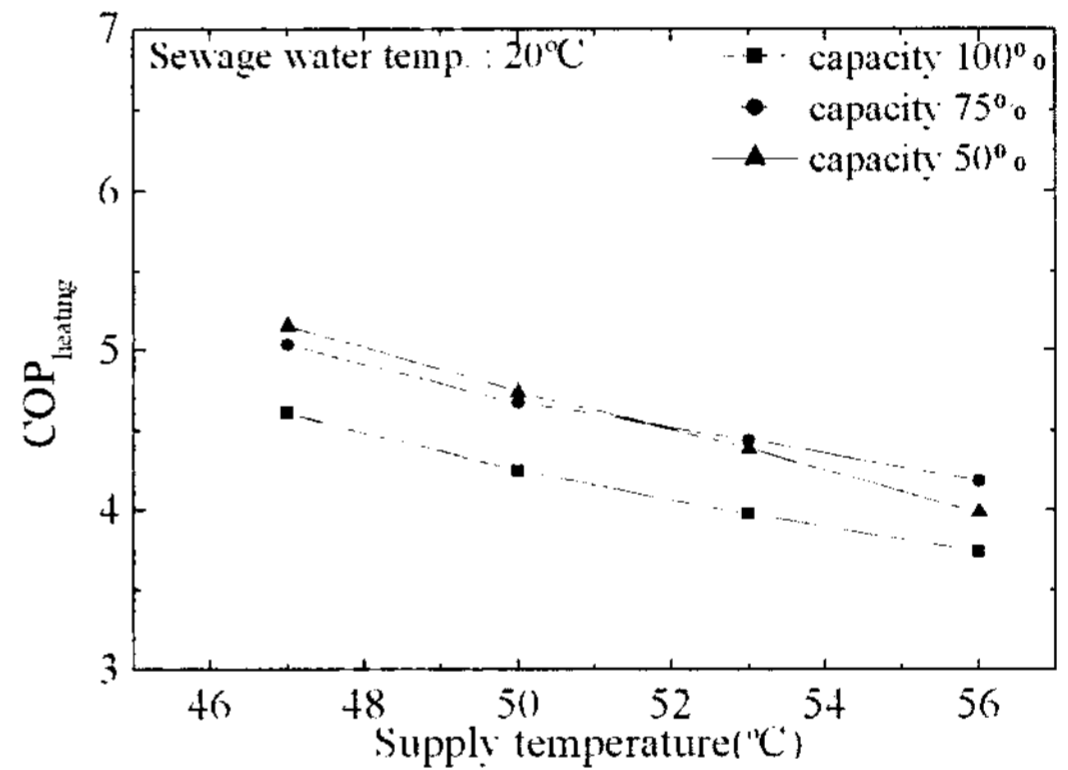
[그림 5] 공급온도에 따른 냉방용량



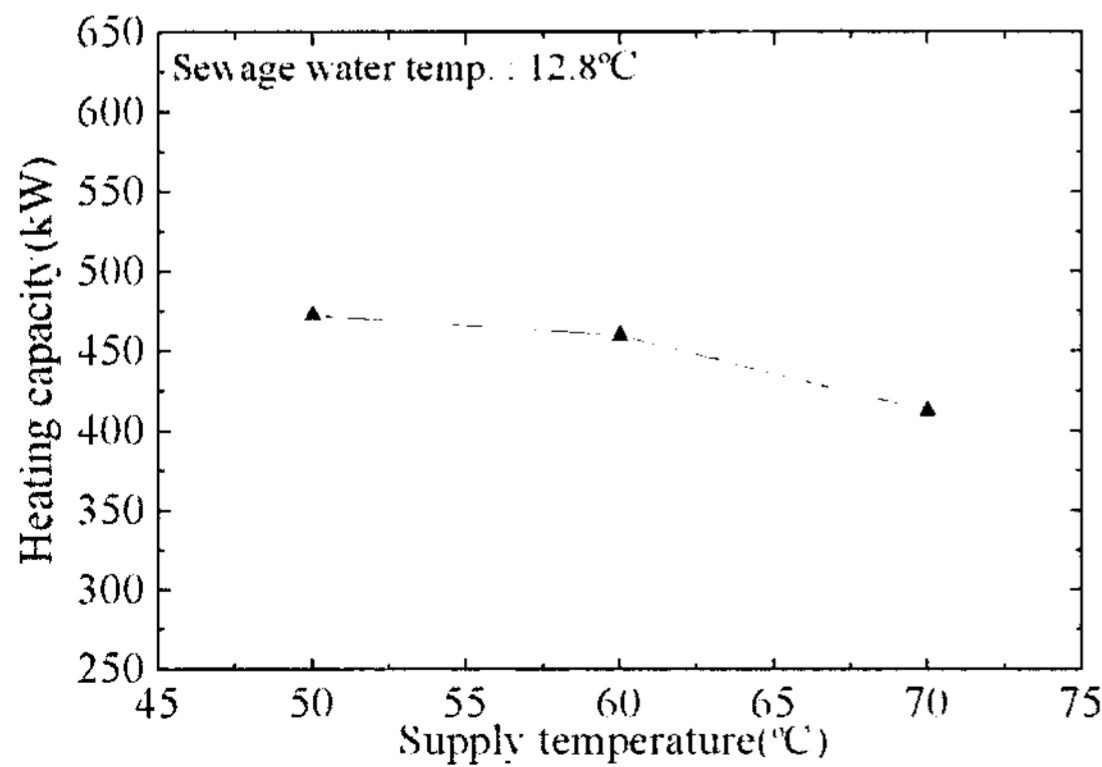
[그림 6] 공급온도에 따른 냉방 COP



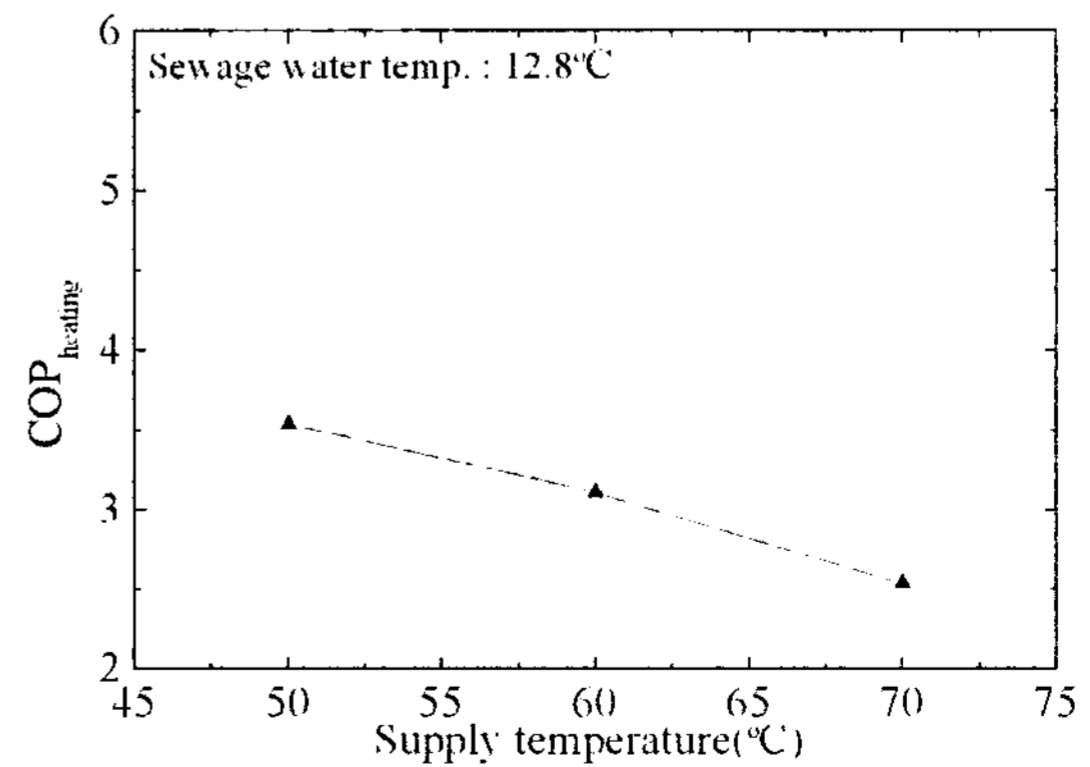
[그림 7] 공급온도에 따른 난방용량



[그림 8] 공급온도에 따른 난방용량



[그림 9] 공급온도에 따른 난방용량 (2단운전)



[그림 10] 공급온도에 따른 난방용량 (2단운전)

결 론

본 연구에서는 하수처리수를 열원으로 하는 100 RT급 스크류 2단 압축 열펌프 시스템을 실증사이트에 설치 및 현장 운전을 수행하였다.

100 RT급 2단 압축 열펌프 시스템 및 미활용에너지 실증 플랜트의 성능평가를 위해 모니터링 시스템을 구축하고, 공급온도 및 부하율 변화 그리고 이코노마이저 적용여부 등에 따른 시스템 현장 성능평가를 수행하였다. 조건에 따라 변화하긴 하나, 냉방(2007년 10 ~ 11월에 수행) 성능계수는 약 4.0 ~ 5.7, 단단 난방(2007년 10 ~ 11월에 수행) 성능계수는 약 4.0 ~ 5.0, 2단 난방(2008년 1월에 수행) 성능계수는 약 3.5(50℃ 생산시) ~ 2.6(70℃ 생산시)였다. 한편 자동운전 모드로써 설정온도를 50로 한 단단 실부하 운전 및 설정온도를 60℃로 한 2단 실부하 운전(5일 연속 일과 시간 동안 운전)을 수행하여 부하 건물로의 실제 열공급 운전에 대한 시스템의 정상 작동 여부를 확인하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 21세기 프론티어 연구개발사업인 이산화탄소 저감 및 처리기술개발 사업단

의 연구비 지원(BB2-101)으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 이영수 외, 하천수 열원이용 고효율 열펌프시스템 개발, 한국에너지기술연구원 보고서, 2005
2. 이영수 외, 미활용에너지 네트워크 실증사업 최적화 연구, 한국에너지기술연구원 보고서, 2005
3. 이영수 외, 2단압축 열펌프시스템 성능평가, 대한설비공학회 하계학술대회 논문집, pp. 1288-1293, 2004
4. 이영수 외, 하수처리수를 이용한 100 RT급 2단 히트펌프 시스템의 실증 연구, 대한설비공학회 하계학술대회 논문집, pp. 73-78, 2007
5. 이영수 외, 하천수 열원 2단 압축 열펌프시스템의 부분부하 운전특성에 관한 실험적 연구, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 1964-1968, 2007
6. 이영수 외, R22를 적용한 전자팽창밸브의 냉매유량 특성 및 유량예측 모델링, 설비공학논문집, Vol. 18, No. 11, pp. 881-887, 2006
7. 이영수, 100RT급 하수열원 스크류 2단 압축 열펌프시스템의 실증 연구, 지열에너지저널, Vol. 4, No. 1, pp. 45-50, 2008