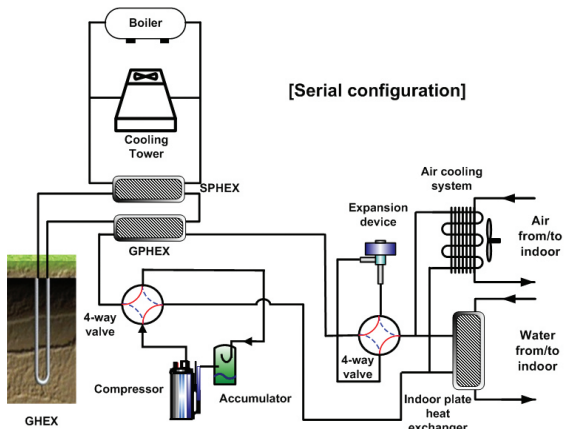


하이브리드 지열히트펌프의 지중 및 보조 열원기기의 배열에 따른 성능특성

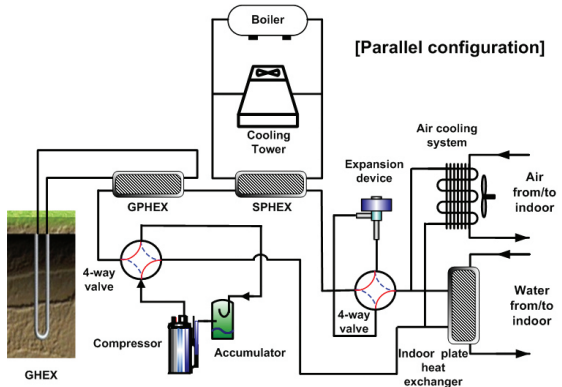
김용찬
고려대학교 기계공학부
(yongckim@korea.ac.kr)

서론

지열히트펌프는 상업적으로 이용이 가능한 100 ~ 300 m 깊이의 지열원을 이용하여 여름에는 실내의 열을 흡수하여 지중으로 열을 방출하는 냉방운전을 하고, 겨울에는 지중의 열을 흡수하여 실내로 방출하는 난방운전을 하는 기기이다. 지열히트펌프는 기존의 냉난방기기 대비 최대 50%까지 에너지 절약이 가능하다는 장점이 있지만, 초기투자비가 높아 단기적인 경제성을 악화시켜 국내의 경우 정부보조금이 없으면 지열히트펌프의 보급이 극히 제한될 수밖에 없는 실정이다. 또한 최대부하 기준으로 지중열교환기를 설계하더라도 냉방부하와 난방부하의 불균형이 큰 경우 장기 운전 시 지중의 열축적으로 인한 지중열환경 악화가 발생하여 지열히트펌프의 효율을 저하시킨다. 이러한 지중열환경 악화를 지연시키고, 설계 시 지중열교환기의 성능을 유지하도록 하기 위해서는 지중열교환기의 크기를 과도하게 증가시켜야 하며, 수직 밀폐형 지중열교환기의 경우 인접한 보어홀 간의 간격을 증가시켜



[그림 1] 하이브리드 지열히트펌프의 직렬배열



[그림 2] 하이브리드 지열히트펌프의 병렬배열

설치면적을 넓혀야 한다. 하이브리드 지열히트펌프는 이러한 지열히트펌프의 단점을 보완한 경제적인 대안으로 여겨지고 있다. 하이브리드 지열히트펌프는 지중열교환기에 냉각탑, 보일러, 공기열원, 태양열 집열판과 같은 보조 열원기기를 추가시키고, 적절한 연계운전을 통해서 지중열환경 악화를 막는 동시에 지중열교환기의 크기를 줄일 수 있다는 장점이 있다.

그림 1과 그림 2는 각각 하이브리드 지열히트펌프의 직렬배열과 병렬배열을 나타낸다. 그림에서와 같이, 하이브리드 지열히트펌프의 지중측 및 보조측 루프를 직렬배열로 구성할 경우, 지중열교환기로부터 토출된 이차유체가 보조 열원기기로 추가적으로 열을 방출한 이후 히트펌프 내의 응축기로 유입되어 냉매와 열교환함으로써 히트펌프의 성능저하를 방지한다. 반면 병렬배열의 경우, 히트펌프의 응축기로서 지중측 판형열교환기와 보조측 판형열교환기로 구성되어 지중측 루프와 보조측 루프가 각각 지중측 판형열교환기 및 보조측 판형열교환기와 연결하여 독립적으로 구성되어 압축기로부터 토출된 고온, 고압의 냉매가 일차적으로 지중측 판형열교환기를 통해 열을 방출하고, 이후 보조측 판형열교환기를 통해 추가적인 열을 방출할 수 있도록 구성하여 지중

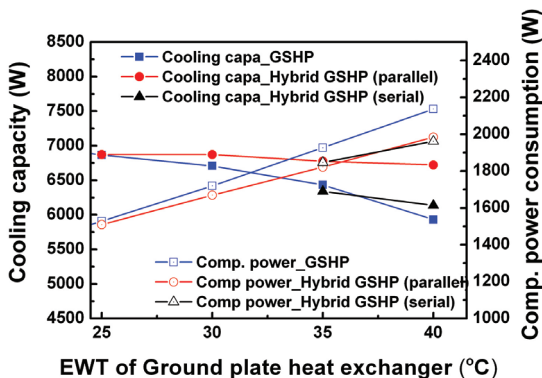
열환경 악화 시 시스템 성능저하를 개선한다.

하이브리드 지열히트펌프에서 주요한 이슈는 지중열교환기와 보조 열원기기의 배열 방식, 상호 중속적인 지중열교환기와 보조기기의 용량 선정 방법, 그리고 연계운전 전략 선정 등이다. 본 연구에서는 하이브리드 지열히트펌프의 지중 및 보조루프의 배열에 따른 성능특성을 비교, 평가하여 최적 배열을 도출하였다.

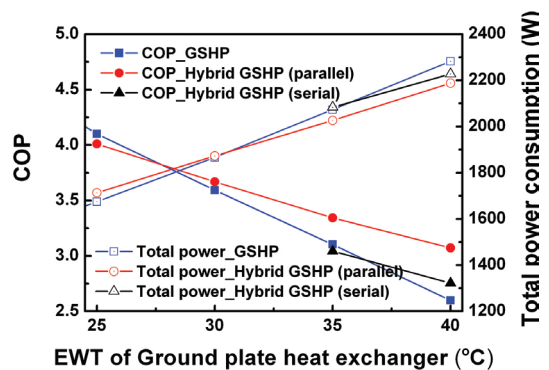
하이브리드 지열히트펌프의 성능특성

일반적으로 지열히트펌프는 장시간 운전을 지속하게 되면 지중측에 열이 축적되어 지중열환경이 시스템의 성능에 미치는 영향이 매우 크다. 따라서, 지중열교환기를 통해 열을 방출한 이후 토출된 이차유체의 온도에 따른 지열히트펌프의 성능특성을 고찰한 뒤, 하이브리드 지열히트펌프 운전 시 성능특성과 비교하였다. 하이브리드 지열히트펌프 운전모드에서 보조 열원기기의 온도 조건은 30℃로 고정하였다.

그림 3은 지열히트펌프와 하이브리드 지열히트펌프 운전모드에서 지중열교환기로부터 토출된 이차유체의 온도변화에 따른 냉방능력과 압축기 소비동력의 변화를 나타낸다. 그림에서와 같



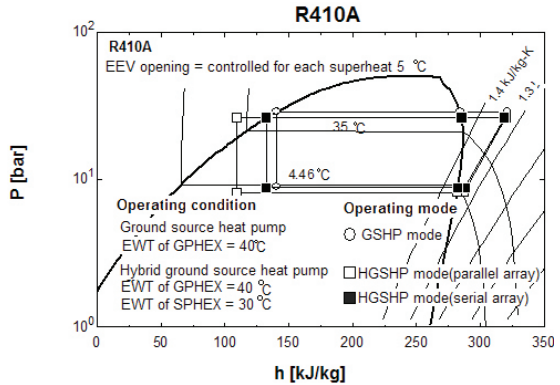
[그림 3] HGSHPP과 GSHP 운전모드에서 GHEX의 EWT 변화에 따른 냉방능력과 압축기 소비동력의 변화.



[그림 4] HGSHPP과 GSHP 운전모드에서 GHEX의 LFT 변화에 따른 총 소비동력과 COP변화

이 지중열교환기로부터 토출된 이차유체의 온도가 25~40℃로 증가함에 따라 압축기 토출압력과 압축비의 증가로 인해 압축기 소비동력이 1527 W에서 2136 W까지 약 40% 증가하였으며, 냉방 능력은 6865 W에서 5931 W 까지 약 13.6% 감소하였다. 또한 지중열교환기로부터 토출된 이차유체의 온도가 상승함에 따라 **그림 4**와 같이 지열히트펌프 운전모드에서의 COP가 4.1에서 2.6까지 감소하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 장기간 운전으로 인한 지중열환경 악화는 시스템의 성능저하의 원인임을 확인할 수 있다. 지중열환경이 악화된 조건 하에 하이브리드 지열히트펌프의 성능특성을 분석하기 위해 직렬배열의 경우 지중열교환기로부터 토출된 이차유체의 온도조건 35, 40℃, 병렬배열의 경우, 25, 30, 35, 40℃ 조건에서 수행하였다.

그림 4에서와 같이 지중열교환기로부터 토출된 이차유체의 온도조건 25℃에서 병렬배열 하이브리드 지열히트펌프 운전모드로 운전할 경우, 지열히트펌프 운전모드에서의 COP가 하이브리드 지열히트펌프 운전모드에서의 COP보다 높게 나타났으며, 30℃ 이후 지열히트펌프 운전모드 대비 하이브리드 지열히트펌프 운전모드에서 상대적으로 높은 COP를 나타내는 것으로 나타났다. 또한 병렬배열 하이브리드 지열히트펌프 운전모드에서의 총 소비동력은 보조 열원기측 펌프의 소비동력이 추가되었음에도 불구하고 지열히트펌프 운전모드 대비 상대적으로 낮게 나타나는 것으로 확인되었다. 반면 직렬배열의 경우 하이브리드 운전효과의 감소로 인해 병렬배열로 구성된 하이브리드 지열히트펌프 운전모드에 비해 낮은 성능을 나타내는 것으로 확인되었다. 각각의 배열별 성능특성을 비교한 결과, **그림 3**과 **4**에서 보는 것과 같이 지중열교환기로부터 토출된 이차유체의 온도가 40℃ 조건에서 지열히트펌프



[그림 5] 지열히트펌프와 직렬 및 병렬배열 하이브리드 지열히트펌프의 P-h 선도.

운전모드 대비 하이브리드 지열히트펌프 운전모드에서의 냉방능력은 직렬배열의 경우 3%, 병렬배열의 경우 13% 증가하는 것으로 확인되었으며, 압축기의 소비동력은 지열히트펌프 운전모드 대비 직렬배열의 경우 8%, 병렬배열의 경우 7% 감소하는 효과를 보였다.

지열히트펌프 운전모드와 각각의 배열에서의 하이브리드 지열히트펌프 운전모드에서의 운전특성을 **그림 5**와 같이 P-h 선도를 통해 나타내었다. 하이브리드 지열히트펌프 운전모드에서의 응축압력은 악화된 지중열환경 조건에서 추가적인 냉각효과로 인해 지열히트펌프 대비 직렬배열의 경우 10%, 병렬배열의 경우 11% 감소하는 결과를 보였으며, 병렬배열의 경우, 증발압력 또한 8% 감소하는 결과를 보였다. 이러한 결과의 원인은 압축기로부터 토출된 고온 고압의 냉매가스가 일차적으로 지중층 루프에 의한 냉각을 통해 거의 포화액체 상태까지 열교환하며, 이후 보조층 루프에 의해 추가적인 열교환으로 인해 과냉도가 증가하여 상대적으로 증발측 엔탈피 차이가 증가하게 된다. 이 경우, 과열도 5℃를 일정하게 유지시키기 위해 EEV 개도를 감소하게 되어 증발압력이 다른 운전모드에 비해 감소하는 경향을 나

타낸다.

결론

하이브리드 지열히트펌프의 직렬 및 병렬배열에서 성능특성을 비교 분석한 결과, COP는 지중열교환기로부터 토출된 이차유체의 온도조건 40℃에서 지열히트펌프 운전모드 대비 하이브리드 지열히트펌프 운전모드에서 직렬배열의 경우 6%, 병렬배열의 경우 18%의 성능향상을 나타내었다. 따라서 병렬배열 하이브리드 지열히트펌프는 지중 및 보조측 루프가 병렬로 배열되어 순차적으로 냉매와 직접적으로 열교환하는 특징으로 인해 소비동력은 감소되고 냉방능력은 상승시켜 지중열환경 악화로 인한 성능저하를 크게 개선시킬 수 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Park H., Lee JS., Kim W., Kim Y., 2013, The

cooling seasonal performance factor of a hybrid ground-source heat pump with parallel and serial configuration. Applied Energy Vol 102, pp. 877-884.

2. Jeon J., Lee S., Hong D., and Kim Y., 2010, Performance evaluation and modeling of a hybrid cooling system combining a screw water chiller with a ground source heat pump in a building, Energy, Vol. 35, pp. 2006-2012.

3. Yavuzturk, C. and Spitler J.D., 2000, Comparative study of operating and control strategies for hybrid ground-source heat pump systems using a short time step simulation model, ASHRAE Trans., Vol. 106(2), pp. 192-209.

4. ASHRAE, 1995, Commercial/institutional ground-source heat pump engineering manual, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning., Inc. 