

CO₂ 냉매를 적용한 가스인젝션 히트펌프의 냉난방 및 급탕 성능 향상 기술

백 창 현

고려대학교 기계공학부
(bch2@korea.ac.kr)

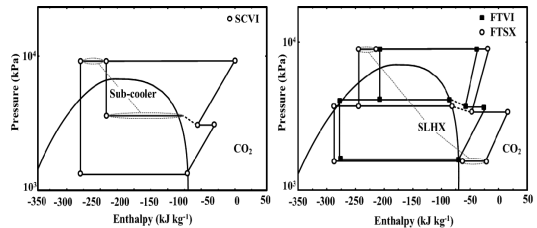
서론

친환경 냉매인 CO₂는 기존의 히트펌프와는 다른 가스쿨러 냉매의 단상유동 특성으로 인해, 고효율 난방 및 급탕용 히트펌프의 구현이 가능하다. 본 연구는 2단 압축 히트펌프의 성능향상을 위해 여러 형태의 가스인젝션 기술을 적용한 CO₂ 히트펌프를 구성하고 성능에 영향을 미치는 제어변수의 영향도를 분석, 고찰하여 히트펌프 시스템을 최적화하고자 한다. 이를 위해 CO₂용 가변속 2단 트윈 로터리 압축기, 기액분리기, 내부열교환기, 과냉각열교환기, 전자팽창밸브 등의 요소기기를 적용하여 CO₂ 히트펌프를 설계하였고, 다양한 운전조건에서 성능시험을 하였다.

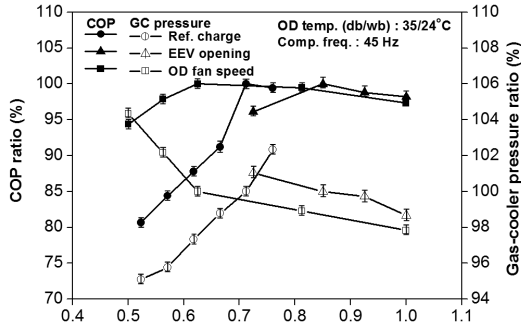
가스쿨러 압력 제어 기술

그림 1은 CO₂ 히트펌프로서 시스템 구성에 따라 과냉각열교환기 적용 가스인젝션 방식, 기액분리 및 내부열교환기 적용 가스인젝션 방식으로 구분된다. CO₂ 히트펌프는 초월임계에서 고압 사이클로 작

동되고 가스쿨러의 압력에 따라 사이클의 성능변화가 민감하기 때문에 여러 제어인자에 따른 영향도를 분석하여 가스쿨러 압력을 최적화할 필요가 있다. 제어변수로서 냉매충전량, 과열도, 압축기주파수, 실외팬 풍량 등을 조절하며 냉방, 난방 표준조건 및 다양한 외기조건에서 가스쿨러 압력에 영향을 미치는 변수시험을 하였으며 그 결과를 분석하였다. 시스템 성능과 가스쿨러 압력에 영향을 미치는 제어인자의 민감도 분석을 그림 2에 나타냈다. 시스템 성능과 가스쿨러 압력에 가장 영향을 미치는 제어변수는 냉매충전량, 실외팬 풍량, 과열도 순이었으며 가스쿨러 압력의 최적제어가 시스템 성능에 중요한 인자임을 확인하였다. 다양한 외기조건에서 변수시험을 통



[그림 1] 과냉각열교환기 및 기액분리기를 적용한 가스인젝션 CO₂ 히트펌프

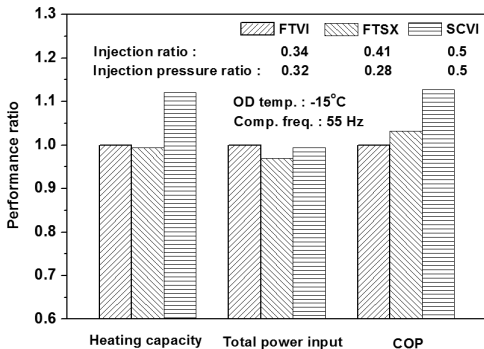


[그림 2] 제어변수에 따른 CO₂ 히트펌프의 성능 및 가스쿨러 압력 변화

해 시스템의 최대 성능을 도출하기 위한 가스쿨러의 압력은 92~95 bar에서 형성됨을 확인하였다.

가스인젝션 기술 적용 히트펌프

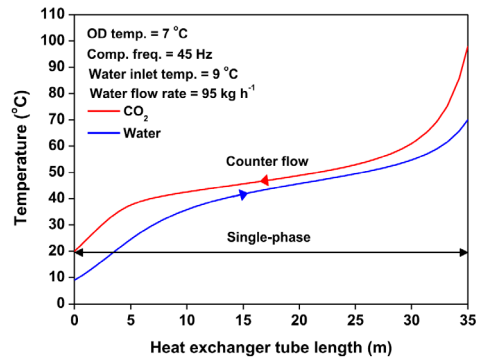
그림 1과 같이 여러 가스인젝션 기술이 적용된 CO₂ 히트펌프를 저온외기(0°C 이하) 조건에서 압축기 주파수, 인젝션 유량 등의 변수시험을 통해 다양한 인젝션 기술들을 비교, 분석하였다. 그림 3과 같이 과냉각열교환기, 기액분리기(w/o and w/내부열교환기) 3가지 방식의 가스인젝션 CO₂ 히트펌프의 성능을 비교하였다. 영하 15°C의 외기 조건에서 과냉각열교환기, 기액분리기 및 내부열교환기 적용 기액분리기 방식의 가스인젝션 CO₂ 히트펌프의 성능은 기본 시스템 대비 9.4%, 6.7% 및 2.8% 향상되었다.



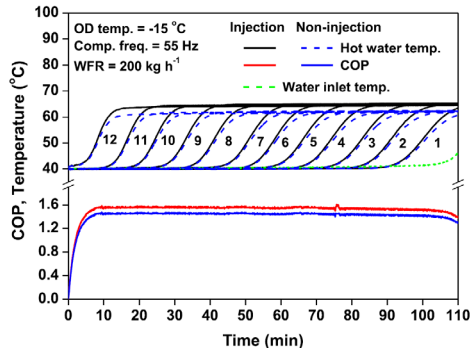
[그림 3] 가스인젝션 사이클별 성능향상

또한, 과냉각열교환기 내 높은 열전달 특성으로 인해 과냉각열교환기 적용 가스인젝션 CO₂ 히트펌프의 성능향상이 가장 높음을 확인할 수 있었다.

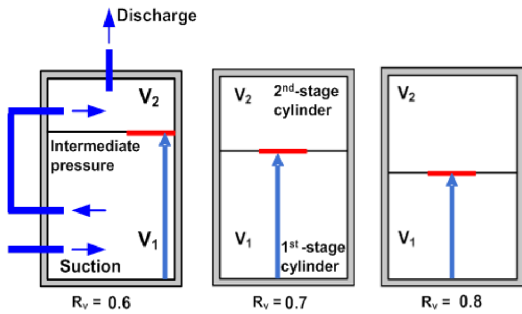
CO₂ 히트펌프는 공기열원 외에 가스쿨러 내에서 고온, 고압의 냉매 특성을 이용하여 60°C 이상의 고온수를 얻을 수 있다. 초월임계 상태에서 가스쿨러 내 냉매의 단상유동 특성에 기인한 고온수 취득 방식이 그림 4에 잘 나타나 있다. 열역학적 해석을 통해 가스쿨러에 공급되는 9°C의 저온수는 가스쿨러 내 단상냉매의 온도구배와 비슷한 경향을 보이며 65°C의 고온수가 될 수 있음을 확인하였고 제어 변수를 변화시켜가며 시스템의 성능특성을 실험적으로 고찰하였다. 그림 5와 같이 과냉각열교환기 적용 가스인젝션 CO₂ 히트펌프에 대해서 급탕성능은



[그림 4] CO₂ 히트펌프 급탕기의 가스쿨러 내 단상냉매와 공급수의 열교환 방식



[그림 5] 과냉각열교환기 가스인젝션 기술을 적용한 CO₂ 히트펌프 급탕기의 성능향상



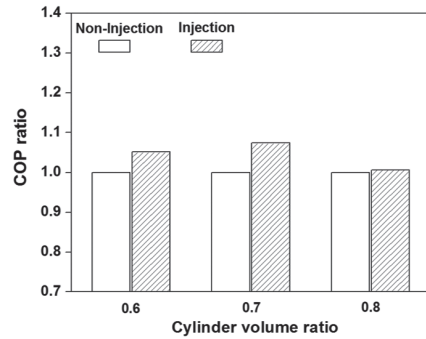
[그림 6] 압축기 실린더 볼륨비에 따른 중간압력 변화

7.1% 향상되었고, 그에 따른 고온수는 2.9°C 향상되어 67.9°C의 고온수를 취득할 수 있음을 확인하였다.

가스인젝션 CO₂ 히트펌프의 성능에 영향을 미치는 설계인자로서 2단 트윈로터리 압축기의 1단 실린더에 대한 2단 실린더의 비인 압축기 실린더 볼륨비에 따른 성능특성을 고찰하여 최적 실린더 볼륨비를 제시하였다. 그림 6은 압축기 실린더 볼륨비에 따른 2단 트윈로터리 압축기의 중간압력의 특성변화를 나타내고 있다. 중간압력의 변화에 따라 가스쿨러 압력과 인젝션유량 등 시스템 성능특성이 달라진다. 압축기 실린더 볼륨비 0.6, 0.7 및 0.8에 따른 가스인젝션 CO₂ 히트펌프 시스템의 최적화 결과, 그림 7과 같이 실린더 볼륨비 0.7인 2단 트윈로터리 압축기를 적용한 가스인젝션 CO₂ 히트펌프의 성능이 가장 우수하였다.

참고문헌

1. Baek, C., Heo, J., Jung, J., Cho, H., and Kim, Y., 2013, International Journal of Refrigeration, Optimal control of the gas-cooler pressure of a CO₂ heat pump using EEV opening and



[그림 7] 압축기 실린더 볼륨비에 따른 가스인젝션 CO₂ 히트펌프의 성능변화

outdoor fan speed in the cooling mode, International Journal of Refrigeration, Vol. 36, No. 4, pp. 1276-1284.

2. Baek, C., Heo, J., Jung, J., Lee, E., and Kim, Y., 2014, International Journal of Refrigeration, Effects of vapor injection techniques on the heating performance of a CO₂ heat pump at low ambient temperatures, International Journal of Refrigeration, Vol. 43, pp. 26-35.
3. Baek, C., Heo, J., Jung, J., Cho, H., and Kim, Y., 2014, Applied Thermal Engineering, Effects of the cylinder volume ratio of a twin rotary compressor on the heating performance of a vapor injection CO₂ cycle, Applied Thermal Engineering, Vol. 67, No. 1-2, pp. 89-96.
4. Baek, C., Heo, J., Jung, J., Cho, H., and Kim, Y., 2014, Energy, Performance characteristics of a two-stage CO₂ heat pump water heater adopting a sub-cooler vapor injection cycle at various operating conditions, Energy, Vol. 77, No. 1, pp. 570-578.