

# 기액분리기로의 기상냉매 주입 기술을 이용한 히트펌프의 성능 향상에 관한 연구

김민수

서울대학교 기계항공공학부(minskim@snu.ac.kr)

## 서론

히트펌프 시장이 확대됨에 따라 증기냉매 주입 기술을 적용한 히트펌프 시스템이 속속 등장하고 있다. VI 기술은 한랭지역이나 열대지역 등에서 열교환 효율이 감소함에 따라 발생하는 히트펌프 시스템 내 냉매 유량의 감소를 효과적으로 해소시킬 수 있는데 그 장점이 있다고 알려져 있다. 특히, 냉매 질량 유량이 감소하고, 압축비가 높아져 압축기 토출온도의 과도한 상승이 발생하는 히트펌프 운전환경(열대지역)에서는 VI 사이클을 이용하여 압축기의 냉매 토출온도를 낮출 수 있어 시스템의 신뢰성 향상에 기여할 수 있다.

VI 사이클 기술은 플래시 탱크를 사용하거나 내부열교환기를 사용하는 방법으로 구현되어 왔다. 응축기 출구 측 냉매 일부를 팽창시킨 후 플래시 탱크나 내부열교환기를 통과한 증기 냉매를 압축기의 인젝션 전용포트에 주입하는 VI 사이클은 압축기에 전용의 인젝션 포트가 구비되어야 한다. 그러나 압축기의 인젝션 포트를 추가적으로 구성할 때 발생하는 원가 상승요인과, VI 사이클이 적용된 시스템이 고부가가치 라인업으로 구성되는 히트펌프

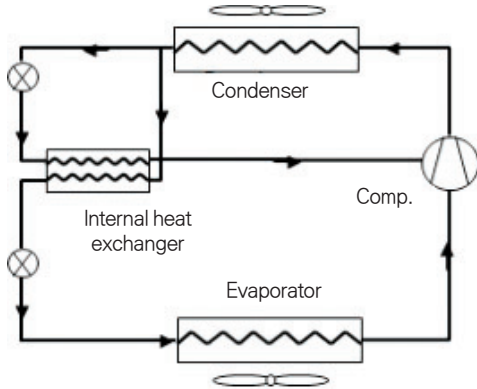
의 최근 시장 동향을 고려할 때, 전용 인젝션 포트가 구비된 (VI-ready) 압축기는 제작 노하우와 부가가치를 반영하여 동일용량의 일반 압축기에 비해 1.5배~3배의 높은 시장가격을 형성하고 있다.

## 증기냉매 인젝션 사이클의 장점 및 활용 확대

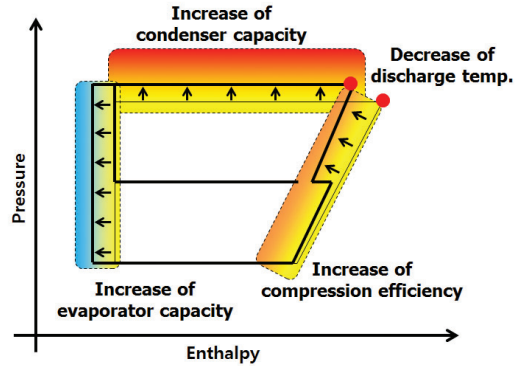
일반적으로 내부열교환기(IHX)를 사용하는 VI 사이클은 **그림 1**과 같이 구성된다. 인젝션 라인이 직접 압축기의 인젝션단으로 연결되어, 응축기 측 냉매 유량 증대 효과를 거둘 수 있도록 하고, 압축과정 측면에서는 2단 압축의 효과로 압축효율 상승이 가능하도록 사이클을 설계하는 것이 VI 사이클의 특징이다.

**그림 2**는 내부열교환기를 사용하는 VI 사이클의 히트펌프 성능 및 신뢰성 향상 특성을 압력-엔탈피 선도와 함께 도시한 것이다.

IHX-VI 사이클은 첫째, 응축기 측 냉매유량의 증가로 인해 응축기 측 난방용량의 확대를 가능하게 한다. 인젝션 라인으로 흘러 들어오는 유량이 압축기를 거쳐 다시 응축기에 흐르게 됨에 따라 응축기 측 냉매 순환유량이 증가한다. 이때, 증발기 측



[그림 1] 일반적인 IHX-VI 사이클의 개념도



[그림 2] IHX-VI 사이클의 히트펌프 성능 및 신뢰성 향상 특성

으로 흘러 들어가는 유량이 감소할 것 같지만, 실제 VI 사이클 운전 시에는 인젝션으로 인해 응축압력의 상승이 동반되기 때문에, 증발기 측 유량은 거의 감소하지 않는다. 이로 인해 응축기 측 유량이 증가한다. 난방용량은 엔탈피를 결정하는 온도와 압력, 그리고 냉매 유량이 통합적으로 관찰되어야 한다. 특히 VI 사이클에서는 냉매 유량의 변화 관점에서 성능향상의 요인을 고찰하는 것이 중요하다고 판단된다.

둘째, IHX 에서 주 흐름의 과냉도를 추가로 확보하도록 함으로써 증발기 측 용량을 증가시키는 것이 가능하다. 증발기 측 용량 증가는 자연스럽게 응축기 측 난방용량의 증가로 이어질 수 있으므로, VI 사이클은 응축기 측의 유량 증가로 인한 용량 증가와 증발기 측 과냉도 증가로 인한 용량 증가의 두 가지 측면으로 이해될 필요가 있다.

셋째, 압축과정이 인젝션 중간압의 존재로 인해 2단 압축 과정이 되며, 이로 인해 일종의 중간냉각효과가 압축과정 중에 발생한다. 1개의 압축실을 보유하는 스크롤 압축기의 경우, 스크롤이 회전하는 중간에 상기의 중간냉각효과가 발생하므로, 1개의 압축기로 2단 압축의 효과를 낼 수 있는 장점이 있다. 이러한 점은 기존 2단 압축 시스템이 압축기를 물리적으로 2개 사용함으로써 시스템 제작

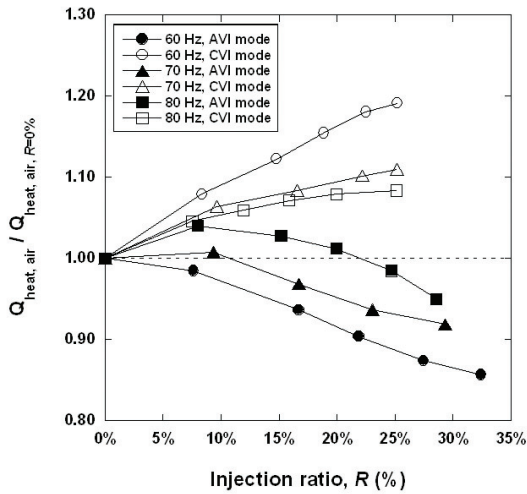
원가가 상승하고 압축기 2대를 위한 설치 공간이 증가하는 단점을 해결할 수 있다.

넷째, 압축기 토출온도의 제어로 시스템 신뢰성이 향상된다. VI 사이클은 압축기의 토출유량을 증가시키기 때문에, 열대기후 운전의 특징인 압축비 증가와 토출냉매유량 감소, 그로 인한 토출온도 상승을 효과적으로 억제할 수 있다. 상기의 중간냉각효과 또한 이러한 압축기 토출온도 상승을 억제하는 주요 요인 중의 하나이다. 토출온도의 저감은 압축과정의 등엔트로피 효율 상승의 결과이기도 하며, 전반적인 시스템 성능향상과도 연관되어 있다.

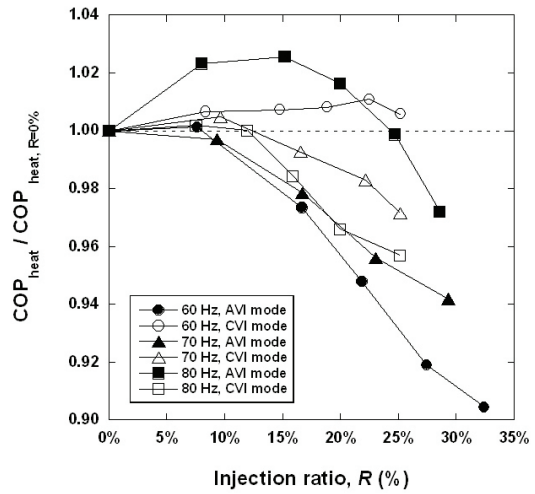
### 수액기 증기냉매 인젝션 기술의 시스템 운전 특성

일반적인 IHX-VI 사이클에서는 일반적으로 인젝션 압력이 응축압력과 증발압력의 사이에 위치하게 되며, 인젝션 흐름의 유량에 의해 상기 인젝션 압력은 일정 부분 변동한다. 그러나 어큐물레이터로 증기 냉매를 주입하는 경우에는, 압축기 흡입단의 압력 레벨의 영향을 받기 때문에 증발압력보다 약 50~70 kPa 더 낮은 압력 수준을 갖게 된다.

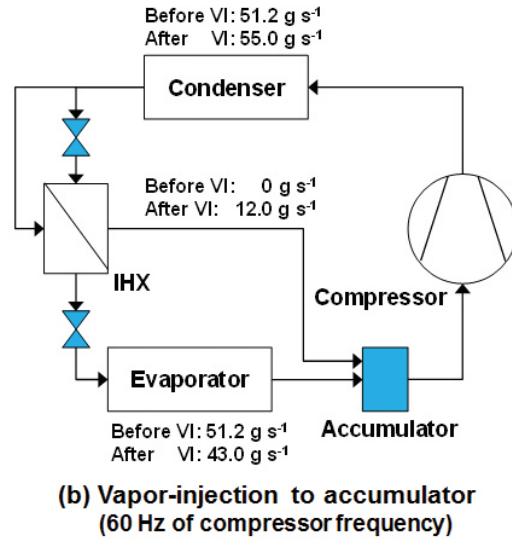
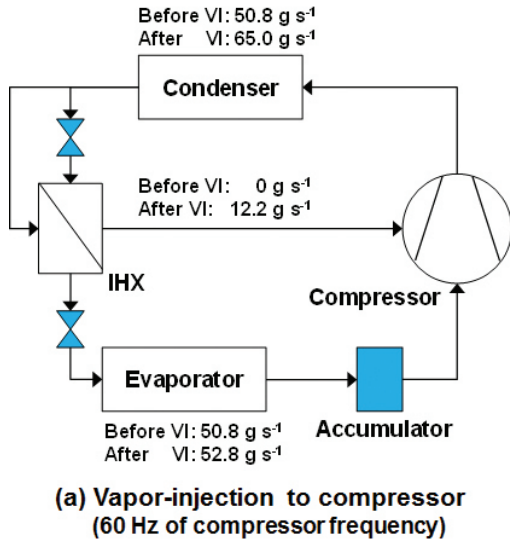
이러한 특성으로 인해 Accumulator Vapor-Injection (AVI) 사이클은 IHX의 주흐름 토출 과냉



[그림 3] Normalized heating capacity variation



[그림 4] Normalized heating COP variation



[그림 5] Accumulator Vapor-Injection으로 인한 냉매 유량 변화

도를 통상적인 IHX-VI 사이클 보다 증가시킬 수 있으며, 이는 증발기 측 용량 증가의 요인이다. 따라서, 본 연구에서와 같이 AHRI 1230 실험조건인 극한상황인 실외온도  $-8.3^{\circ}\text{C}$  조건에서 AVI를 이용한 성능향상이 가능함을 그림 3에서 확인할 수 있다. 물론, 기존의 증기냉매인젝션 (Classic Vapor-Injection, CVI) 사이클과 같이 15% 이상의 용량 증가는 기대할 수 없으나, 5% 정도의 성능향상 효과

가, 저 Hz의 압축기 주파수 조건에서 일부 가능성을 실험적으로 보였다. 한편, 그림 4와 같이 압축효율 증가에 따른 COP의 증가도 기대할 수 있다.

그림 5에서와 같이, Accumulator Vapor-Injection 기술은 기존 VI 사이클과는 다른 냉매 유량의 변화를 보여주고 있다. 결론적으로, Accumulator로 인젝션을 수행할 경우, 부효과 적인 측면에서 증발기 유량의 대체효과가 발생하기 때문에 많은 양의

인젝션 흐름은 시스템의 성능향상 측면에서 이롭지 못할 수 있다. 실험적으로는, 시스템 전체 유량의 5% 내외의 인젝션 유량이 설계되는 경우 시스템 성능향상이 최적으로 이루어질 수 있다고 판단된다.

## 결 론

기존 VI사이클의 변형이라 할 수 있는, Accumulator Vapor-Injection 기술은 기존 압축기를 사용하는 저가 라인업의 히트펌프에서도 VI 사이클의 일부 장점을 활용할 수 있는 기술이며, 이를 이용한 VI 사이클의 기술 저변 확대 및 산업의 과급효과를 기대해 본다. 고가의 Injection-Ready 압축기를 사용하는 경우 시스템 성능향상 및 압축기 신뢰성 확보가 용이

하게 진행될 수 있으나, 원가상승으로 히트펌프 시장 내 고가제품에만 채택되었던 아쉬운점이 있었던 반면, 본 기술은 VI 사이클의 장점을 보다 저가의 라인업에도 적용할 수 있어 히트펌프 시스템 전반의 성능 및 신뢰성 향상에 기여할 수 있으리라 판단된다.

## 참고문헌

1. Roh, C. W. and Kim, M.S., 2011, International Journal of Refrigeration, Comparison of the heating performance of an inverter-driven heat pump system using R410A vapor-injection into accumulator and compressor. 