

A Frost-less Heat Pump

황윤제, 이원희

대부분의 가정용 냉난방겸용 공기조화기(히트펌프)는 실외온도가 5℃ 이하이고, 습도가 높은 저온고습조건에서 난방운전을 하면 열교환기 표면에 서리가 발생하고, 이로 인해 시스템의 성능이 떨어지게 된다. 이를 방지하기 위하여 어느 일정 조건이나 시간이 되면 히트펌프는 제상운전을 하게 되는데, 보통의 가정용 히트펌프의 경우 난방운전도중에 사이클을 냉방운전으로 전환하여 실외 열교환기의 온도를 높여 증으로써 제상을 하는 방식(Cycle reversing method)을 사용하고 있다. 이 방식은 부가적인 제상회로를 구성하거나 히터를 첨가하는 등의 재료비 증가 없이 제상을 수행한다는 장점이 있으나, 시스템의 에너지 효율 측면에서 불리할 뿐만 아니라, 소비자의 입장에서 보면 제상운전이 진행되는 동안에 따뜻한 바람이 공급되지 않아 쾌적한 공조를 제공받지 못한다는 단점이 있다.

본 자료에서는 먼저 제상방식에 관하여 그 종류와 특징을 알아보고, 최근에 진행되고 있는 착상 지연기술 중 어큐물레이터 내에 히터를 설치하는 방식(Viung C. Mei, et al., 2002, ASHRAE TRANSSACTIONS, V 108, Pt. 1)에 대하여 소개하고자 한다.

서론

최근 들어 에어컨 또는 히트펌프에 있어서 생산자와 소비자 모두가 중요시하는 요소는 에너지 효율문제와 쾌적 공조에 관한 문제일 것이다. 앞서 언급한 바와 같이 겨울철 저온고습조건에서의 난방운전의 경우, 실외 열교환기에 서리가 발생하게 되는데, 이 때 서리

발생으로 인한 열저항 증가로 열교환기 성능이 떨어지게 되며, 또 실외 풍량마저 감소하게 되어 냉매로의 전달열량이 감소하고, 이에 따라 시스템의 증발온도는 떨어진다. 증발온도가 낮아지면 냉매의 순환유량(mass flow rate)이 감소하여 시스템의 능력이 급격하게 저하되고, 압축기에서의 액압축 가능성도 커지게 된다. 또, 냉매유량 감소로 인하여 실내측 토출온도가 감소하여 소비자들은 불쾌감을 갖게 된다.

위의 이유로 인해 제상운전이 필요하게 되는데, 보통 가정용 히트펌프의 경우에 있어서 난방운전을 냉방운전으로 전환하여 실외 열교환기를 증발기에서 응축기로 바꿔줌으로써 서리를 제거하는 방식을 사용하고 있다. 그러나, 이런 방법을 쓸 경우 제상운전 중에 실내온도가 떨어지게 되어 제상완료 이후 부하가 커지며, 제상운전이 수행되는 동안 따뜻한 바람을 공급받지 못하게 되어 소비자들의 불만은 커진다. 또, 제상완료 직후 실내 열교환기(제상운전 시의 증발기)의 온도가 낮아서 열교환기 온도가 증가될 때까지 어느 정도의 시간을 기다려야 함으로 운전율이 감소하는 문제점도 발생하게 된다. 최근 들어 이러한 문제를 보완하기 위한 여러 가지 제상방법이 소개되고 있으며, 착상을 방지하거나 지연시켜 운전율을 높이는 방법에 관해서도 많은 연구가 수행되고 있다.

본론

이 장에서는 여러 가지의 제상방법에 대하여 각각의 특징을 소개하고, 현재 연구되고 있는 착상방지 또는

이원희 LG전자 디지털 어플라이언스 연구소 에어컨그룹 (beachtime@lge.com)

황윤제 LG전자 디지털 어플라이언스 연구소 에어컨그룹 (hyj@lge.com)

지연방법(frost-less heat pump)에 관한 기술을 알아보겠다. 특히, 어큐뮬레이터(accumulator) 내에 히터를 설치하여 압축기로 유입되는 냉매를 가열시킴으로써 착상을 지연하는 방법에 관하여 자료를 인용해 알아보도록 하겠다.

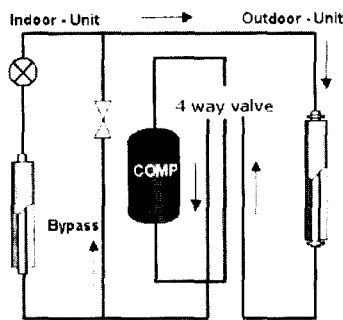
여러 가지 제상방법

표 1에 현재 사용되거나 연구되고 있는 여러 가지 제상방법과 각각의 특징을 나타내었다. hot gas 제상 방식은 압축기 토출부 가스의 고온을 이용하는 방식으로 제상이 시작되면 전자팽창밸브가 완전히 닫히게 되어 냉매는 바이패스 회로로만 이동하게 되고, 이 때 팬을 모두 정지시킴으로써 빠른 시간에 제상을 완료

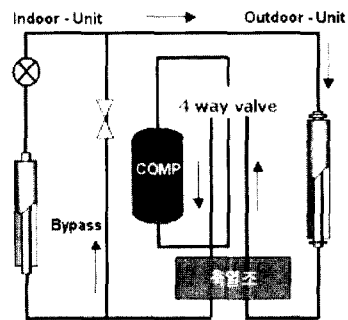
<표 1> 제상의 종류와 특징

Methods	특징
Hot gas 제상	- 압축기 토출부의 고온가스를 이용 - 서리두께가 두꺼울 경우 신뢰성 문제가 생김. - 응용 : 축열을 이용하는 제상 : Non-stop제상
Electric 제상	- 증발기 쪽에 히터로써 열을 공급하는 방식 - 조작 및 제어가 용이 - Hot gas제상방식에 비하여 제상시간 증가. - 온도의 과도한 상승방지를 위한 안전장치 필요.
Cycle reversing 제상	- 보통 가정용 에어컨에서 사용하는 방식 - 난방 사이클 운전도중, 냉방사이클로 운전전환 - (난방)운전을 감소로 인한 문제점 있음.
Coil spray 제상	- Coil표면에 물을 분사하는 방식 - 제상시간이 빠름(Hot gas방식보다 빠름) - 제상종료 후 Coil과Fan에 남은 물문제가 있음
기타	- Air defrost - Gas injection 방식 - Micro-wave를 이용한 제상 - 지열(Geothermal energy)을 이용한 제상

할 수 있는 방식이다. 그림 1에 간단한 Hot gas 제상 방식을 나타내었다. 비교적 제상시간이 빠르다는 장점과 부가적으로 히터(heater)를 사용하지 않는다는 장점이 있으나, 제상시간에 제약이 있어서 서리두께가 너무 두꺼울 때는 제상이 힘들다는(제상이 길어졌을 때 증발기에 액냉매가 쌓이고 압축기로 이동하는 냉매량이 적어져서 recirculation이 잘 안되고, 이것이 길어졌을 때 압축기로 액냉매가 유입되어 시스템이 손상될 가능성도 있음) 단점이 있다. hot gas 제상을 보완한 방법으로, 축열을 이용하는 제상방식이 있다. 이는 앞서 언급한 hot gas 제상에서 증발기에 생긴 냉매액을 처리하기 위해 정상운전 시에 저장된 축열을 이용하는 방법으로, 간단한 구성도를 그림 2에 나타내었다. 정상운전 시에 고온고압의 압축기 토출 냉매는 축열조를 거쳐 응축기로 이동되어, 축열조에 열을 저장하고, 제상운전 때에 증발기에서 응축된 냉매가 축열조를 거쳐 증발된 후 압축기로 이동함으로써 액압축 방지를 할 수 있는 방식이다. hot gas 제상 방식을 응용한 non-stop 제상방식은 위에서 언급한 hot gas 제상방식과는 달리 제상 중에도 실내팬을 작동시켜 난방을 수행하면서 제상하는 방식으로 압축기에서 토출되는 고온의 냉매 중에 일부는 증발기에 보내고, 일부는 실내측에 보내어 난방을 수행하는 방식으로 연속난방을 할 수 있다는 장점이 있으나, 난방능력이 그다지 크지 않다는 단점이 있다. heater를 이용하는 제상방식은 증발기의 적당한 위치에 히터를 설치하는 방식으로 조작과 제어가 비교적 간단하지만,



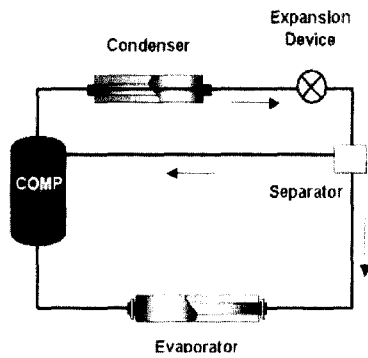
[그림 1] hot gas 제상방식



[그림 2]축열을 이용하는 방식

제상시간이 길어지며, 제상 시작시점과 종료시점을 잘못 판단하였을 때에 온도의 과도한 상승으로 인한 문제가 발생할 수 있으므로 누전차단기나 써모스탯(thermostat) 등을 설치해야 된다는 문제가 있다. 보통 가정용 히트펌프에서 가장 많이 사용되는 cycle reversing 방식은 난방운전과 냉방운전의 전환으로 제상하는 방식으로 간단한 전환에 의해 제상이 된다는 장점이 있으나, 에너지 효율과 운전율 단축으로 인한 쾌적감 감소라는 문제점이 있다. coil spray 방식은 물을 이용하는 방식으로, water defrost 라고도 하는데, 증발기 코일에 10 - 20℃의 물을 뿌려 제상하는 방식이다. 단시간에 제상할 수 있다는 장점이 있으나, 물배관 관련설비(동결방지장치 등도 포함)가 필요하고, 제상종료 후에 코일의 부착된 물이 비산하거나 물의 동결로 팬이 정지하는 경우가 있다.

또, 위에서 언급한 직접적 제상은 아니더라도 팽창장치를 통과한 냉매를 압축기에 유입시켜 냉매유량을 증가시키고, 이를 통해 저온조건이나 착상조건에서의 감소된 난방능력을 향상시키는 방법도 있다. 보통 gas injection 방식이라 불리는데, 그림 3에 이를 나타내었다. 팽창장치와 증발기 사이에 Separator를 설치하여 액냉매는 증발기 쪽으로 이동시키고, 가스상태의 냉매는 압축실로 이동시켜 증발기 쪽의 열전달능력을 향상시키는 동시에 압축실 내부의 냉매 비체적을 감소시켜 냉매 순환량을 증가시킴으로써 난방능력을 향상시키는 방식이다.



[그림 3] gas injection 방식

Frost-less Heat Pump

이 장에서는 제상 또는 착상지연을 위하여 냉매에 열을 가하는 방식에 대하여 간단히 알아보고, 이러한 방식의 예로써 어큐물레이터 내에 히터를 삽입하여 착상을 지연시키는 방법에 대하여 중점적으로 알아보도록 하겠다. 우선 제상 또는 착상지연을 위해 냉매에 열을 가하는 방식을 크게 3가지로 분류하여 표 2에 나타내었다. Heat from condenser 방식은 압축기 출구측의 고온 열을 이용하는 것으로, 앞 장의 축열을 이용한 제상방식에서의 축열조와 같은 열교환 장치를 압축기 출구에 장착하여 고온의 냉매와 물을 열교환시켜 여기서 얻은 따뜻한 물을 증발기 측에 공급하는 방식이다. 착상지연 및 제상에 유리하며, 연속적인 운전이 가능하지만, 이를 위해 추가적인 열교환 장치와 이중관 열교환기와 같은 새로운 형태의 증발기가 필요하며, 제상 시에 난방능력의 감소우려가 있다. Heat from compressor 방식은 압축기에서 발생하는 폐열을 그대로 이용하는 방식으로 압축기 위에 추가적인 열교환 장치를 두어 압축기에서 발생하는 열과 2차유체를 열교환 시키고 이를 이용하여 제상을 하는 방식이다. 마지막으로 히터를 이용하여 증발기 출구(압축기 입구)의 냉매를 가열하여 그를 통해 착상지연을 시키는 방법이 있다. 압축기 입구의 가열을 통해 토출온도와 증발온도를 높이고, 냉매 순환량을 증가시켜 착상을 지연시키는 방법이다.

이 장에서 중점적으로 소개하기로 한 어큐물레이터

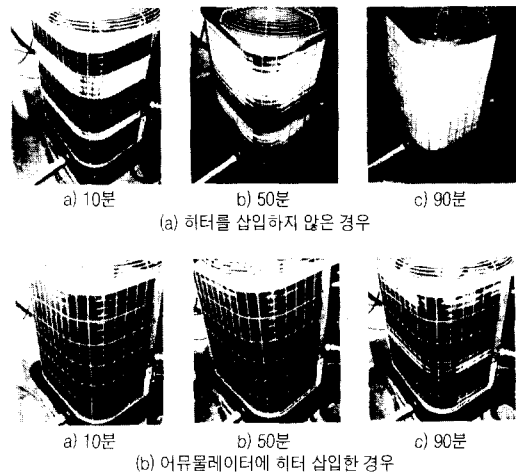
<표 2> 열교환 방식

heat source	특 징	과 제	비 고
heat from condenser	압축기 출구 측의 고온 냉매를 이용하여 2차 유체를 가열하고, 이를 증발기에 공급하는 방식	-new defrost circuit -new evaporator	-난방능력 저하 가능성 -hex공간확보 필요
heat from compressor	압축기 위에 추가적인 열교환 장치를 두어서 압축기에서 버려지는 열을 제상에 이용하는 방식	-new defrost circuit -new design of compressor	
heater (heating after evaporator)	실외 열교환기 출구 측에 가열 수단을 두어 증발온도 및 토출 온도를 높여 착상지연하는 방식	-heater -control unit	-착상지연 효과 -난방능력 증가 효과

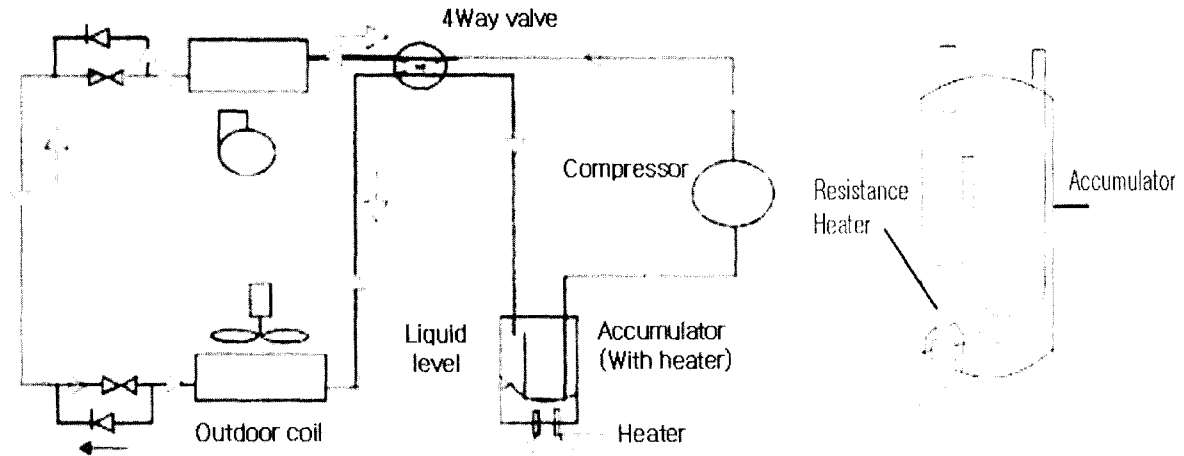
내의 냉매를 가열시키는 방법(Viung C. Mei, et al. ASHRAE TRANSSACTION 2002, V 108, Pt. 1 인 용)도 이와 같은 원리를 이용한 것이다. Liquid Over-Feeding(LOF) Air-conditioning Work(Mei et al. 1996)에 의하면, 어큐물레이터에 응축기로부터 공급된 응축액의 열을 가했을 때, 흡입압력이 6 ~ 8 psi 상승함을 알 수 있었다. 이를 응용하여 어큐물레이터에 직접 히터를 삽입하여 열을 가하면, 같은 효과를 얻을 수 있음을 실제 실험을 통해 확인할 수 있었고, 그 결과로써 시스템의 착상지연효과 및 난방능력 증가효과를 얻을 수 있다는 것이 주 내용이다. 그림 4에 이와 같은 사이클의 구성도 및 히터를 삽입한 어큐물레이터의 형상을 나타내었고, 이에 대한 실험 결과를 그림 5 - 7에 나타내었다. 실험에 이용된 시료는 가장 일반적인 가정용 heat pump인 용량 30800Btu/hr급의 것이며, 이 시료는 제상을 위하여 10kW의 히터를 이용하는 것이다. 실험은 다음과 같은 조건들에서 수행되었다. 실외온도는 0 ~ 5℃ 사이에서 변화시켰고, 이 때 상대습도는 75 ~ 80% 사이에서 조정하였으며, 실내온도는 20℃와 15.5℃로 맞추었다. 그림 5에서의 결과는 외기 조건이 온도 35°F (약 1℃)에 상대습도 75%인 것이다. 그림 5.(1)은 똑 같은 시스템에서 히터를 사용하지 않은 사이클에서의

90분 동안의 난방운전 결과이고, 그림 5.(2)는 그림 4에서처럼 어큐물레이터에 1kW급의 히터를 부착하여 열을 공급해준 결과이다.

그림 5에서 볼 수 있듯이 어큐물레이터에 열을 가해 준 경우는 위에서 설명한 것처럼 증발온도의 증가에 의해서 착상이 매우 지연되었음을 알 수 있었다. 실제, 미국 Tennessee주에서의 실험에서는 제상주기가 일반적인 경우보다 1/5로 감소되었다. 그림 6에



[그림 5] 시간에 따른 증발기 표면 서리생성 정도



[그림 4] 어큐물레이터에 히터를 삽입한 형태의 제상시스템

을 열거하며, 그 중에서 특히 최근에 발표된 어큐물레이터에 히터를 삽입하여 착상을 지연시키는 기술을 소개하였다. 어큐물레이터에 히터를 설치하였을 경우, 증발온도의 상승으로 인해 제상주기가 평소의 약 1/5로 줄어들어 에너지 절약을 할 수 있었으며 (HSPF 9% 상승), 실내 토출온도도 2 ~ 3℃ 상승하여 난방능력이 보다 증가하였고, 쾌적한 난방운전이 가능함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Mei, V. C. et al. 2002 A Frost-less heat pump. ASHRAE TRANSSACTION 2002, V 108, Pt. 1.
2. Mei, V.C. et al. 1996. Experimental study of a liquid overfeeding window air conditioner.

- ASHRAE Transactions 92(1). Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc..
3. ASHRAE. 1983. ASHRAE Standard 116-1983, Methods of Testing for Seasonal Efficiency of Unitary Air-Conditioners and Heat Pumps. Atlanta: American Society of Atlanta. 