

## 고온냉매 우회방법을 적용한 열펌프의 성능 개선 연구

강신형\* · 변주석†

\*전양대학교 기계공학과, 연세 CT 연구단  
(2006년 9월 20일 접수, 2006년 10월 23일 채택)

### A Study on Performance Improvement of Heat Pump Adopting the Hot Gas Bypass Method

Shin-Hyung Kang\* and Ju-Suk Byun†

\*Department of Mechanical Engineering, Konyang University, Nonsan 320-711, Korea  
Yonsei Center for Clean Technology, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea  
(Received 20 September 2006, Accepted 23 October 2006)

#### 요 약

본 연구는 공기 열원 열펌프의 성능 향상을 위한 연구로써 제상 방법으로 고온냉매 우회방법을 사용하고 내부열교환기를 장착한 열펌프 시스템의 성능을 ISO5151의 표준제상 조건에서 실험하였다. 실험은 고온냉매 우회방법과 가장 일반적인 제상 방법인 시간주기 제상방법을 비교하였으며 착상 발생 후 압축기 출구의 고온냉매를 실외기 입구로 우회시킬 때 실외기 팬 속도를 정상속도에 대하여 0%, 30%, 60%, 90%로 변화 시키면서 열펌프의 성능변화를 관찰하였다. 연구결과 210분의 열펌프 가동시간 동안 고온냉매 우회방법은 시간주기 제상방법 보다 2.2~6% 높은 평균 성능계수를 나타냈으며 고온냉매 우회방법에서는 실외기의 팬 속도가 60%일 때 가장 좋은 성능계수와 난방용량을 나타냈다.

**주요어** : 히트펌프, 고온냉매, 우회방법, 내부 열교환기, 성능계수

**Abstract** — This study experimentally investigates the performance improvement of the heat pump by adopting the hot gas bypass method and using the internal heat exchanger according to the automatic defrost test conditions of ISO 5151. This study compares the hot gas bypass method with the time step method, and investigates effect on outdoor coil fan speed when the hot gas of compressor outlet enter outdoor coil inlet after the frost formation. The tests were made for the fan speeds of the outdoor coil controlled at 90, 60 and 30% of the normal speed together with the case of the stationary fan. The performance of the heat pump is evaluated by variables such as COP, heat capacity, and the average COP during the 210 minutes heating mode. Results show that average COP of the hot gas bypass method is 2.2~6% higher than that of the time step method. When the outdoor coil fan speed is 60% (780 rpm) of the normal speed, it shows the best COP and heating capacity.

**Key words** : Heat pump, Hot gas bypass method, Internal heat exchanger, COP

†To whom correspondence should be addressed.  
Yonsei Center for Clean Technology, Yonsei University,  
Seoul 120-749, Korea  
Tel: 02-2123-2816  
E-mail: sn1972@yonsei.ac.kr

## 1. 서 론

열펌프는 한 대의 기기로 냉방과 난방이 모두 가능하다는 장점이 있지만 공기를 열원으로 사용할 경우 실외 공기의 조건이 습도가 높은 5°C 이하일 때 실외기에 착상이 발생하며 실외공기 온도가 낮은 경우 효율이 저하되는 문제점을 가지고 있다. 따라서 우리나라와 같은 기후조건에서는 보조 열원장치 없이는 사용하기 어려우며 매우 제한적인 지역에서만 사용되고 있는 실정이다. 실외기 코일에 착상이 발생하면 실외기를 통과하는 실외공기와 냉매가 열교환을 하지 못하기 때문에 저온의 냉매가 압축기로 유입되게 된다. 압축기로 저온의 액상냉매가 유입되게 되면 압축기 성능은 급격히 떨어지게 되며 결국 작동을 멈추게 된다. 실외기의 흰 간격이 조밀하면 냉매와 실외 공기와의 열교환율은 높지만 착상이 발생되면 흰 간격이 조밀하기 때문에 착상의 성장 속도를 빠르게 하는 단점도 있다. 오래 전부터 열펌프 성능에 가장 큰 영향을 미치는 착상제거 방법은 많은 연구가 진행되어 왔다. 열펌프 착상제거 연구는 열교환기 전체면적으로 착상이 성장해 가는 것을 지연시켜 난방운전을 오래 지속할 수 있는 착상지연방법과 열교환기 표면을 특수 물질로 코팅하여 착상발생을 어렵게 하는 연구도 진행되었다. 완전제상방법은 열교환기 표면의 착상을 완전제거 하여 열펌프 성능을 정상 상태로 복원하는 방법이다.

실외기 코일에 형성된 착상을 제거하기 위해 사용되는 방법으로는 고온가스 제상법, 전기히터 제상법, 역사이클 제상법, 코일 스프레이 제상법 등이 있다. 효과적인 제상법이 되기 위해서는 착상을 정확히 감지하여 제상의 시작과 종료에 대한 정보를 제상시스템에 전달해 주어야 한다. 제상을 하기 위해서는 어떤 식으로든 에너지가 필요하며 착상인지에 대한 정확한 정보 없이 제상을 하는 것은 에너지의 낭비를 의미한다. 현재 보편적으로 사용되고 있는 착상인지 방법은 서리로 인해 발생하는 실외기 온도변화와 외기온도차를 이용하는 온도 제어방식과 실외기 코일의 입·출구에서 공기의 압력변화를 이용하는 압력제어방식, 그리고 시간과 온도 또는 온도와 압력 등을 복합적으로 이용하는 방식이 있다. 그러나 대부분의 열펌프에서는 착상감지 장치 없이 일정 시간 운전 후, 자동으로 제상운전을 하는 일정시간제어 방식이 사용되고 있다. 이 방법은 에너지 손실량도 매우 크며 거주자의 쾌적성도 만족시키지 못한다.

Kondepudi<sup>1)</sup>는 여러 가지 흰 형상(평판 흰, 웨이비 흰, 루버 흰)에 대해 착상 실험을 실시하여 각각의 성능을 비교 하였는데, 서리가 성장함에 따라 열교환기 전후의 압력 강하가 점차 커지며, 현열 열전달 계수 및 열

교환기 유용도(effectiveness)는 별다른 감소를 나타내고 있지 않다고 발표하였다. Chen<sup>2)</sup>은 일반적으로 흰의 선단부에서 열 및 물질 전달계수가 가장 높고 여기서 착상이 진행된다고 하였다. Watters<sup>3)</sup>는 이들의 이론을 이용하여 외기조건(건구온도 1.7°C, 습구온도 0.56°C, RH 82%)에서 흰의 전·후방의 피치를 15/20FPI(6/8 fins per cm), 15/25FPI(6/10 fins per cm), 20/20FPI(8/8 fins per cm)의 3가지 경우에 대해 실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 발표했다. 20/20의 실외기는 착상이 발생하기 전 성능계수가 2.7이었으나 시스템 가동 40분 이후 착상으로 인해 성능계수가 급격히 감소하였다. 그러나 흰 피치를 15/20, 15/25로 했을 경우에는 약 27분이 더 지연된 67분까지 2.7의 성능계수를 유지하였다. Mei<sup>4)</sup> 등은 액분리기(accumulator)에 응축기로부터 공급된 응축액에 열을 가열했을 경우 압축기 흡입압력을 6-8 psi 정도 상승된다는 냉매가열방법(Liquid-Over-Feeding)의 이론을 이용하여 열펌프내 액분리기에 히터(heater)를 장착한 실험을 수행하였다. 지성 등<sup>5)</sup>은 흰·관열교환기에 크롬계 물질인 친수성(hydrophilic)표면의 재질과 테프론처리한 발수성(hydrophobic)표면의 재질을 열교환기 표면 처리하여 착상지연 효과를 분석한 결과에서 친수성 표면에서는 착상시 고밀도의 서리가 형성되었고 제상시 응해수(drainng water) 배출속도가 향상되고, 발수성 표면에서는 저밀도의 서리가 형성되어 제상시 표면특성에 의하여 녹지 않은 서리가 배출됨으로써 서리 응해 기간 동안의 배출 비율이 증가하였다고 발표했다. 황윤제<sup>6)</sup>는 제상을 위한 4가지방법을 연구하였다. 첫째는 열펌프에 별도의 추가적인 장치를 하지 않고 압축기에서 나오는 고온의 냉매를 이용 할 수 있도록 유로설계만을 변경하는 고온냉매(hot gas) 이용방법이며 둘째는 역사이클 제상 방법이고, 셋째는 열펌프에 서리를 녹이기 위한 장치를 별도로 부착해서 기본적인 열펌프의 사이클에는 영향을 미치지 않고 제상하는 전기히터방법이다. 그리고 마지막으로 물분사(coil spray)방법을 연구하였다. 각 방법의 특징을 살펴보면 고온냉매 이용방법은 실내기를 통과한 냉매를 그대로 압축기로 유입을 하고 실외기 팬(fan)의 작동을 멈추는 방법으로 비교적 제상시간이 비교적 빠르며 추가적인 히터를 사용하지 않고 제상모드 작동 시에도 지속적인 난방이 가능한 장점이 있지만 일단 실내기에서 1차적으로 열교환을 하여 응축된 액체상태의 낮은 온도의 냉매가 실외기로 유입되기 때문에 서리 두께가 너무 두꺼울 때는 액냉매가 압축기로 유입될 수 있다는 단점이 있다. 역방향운전은 일반적으로 가장 많이 사용하는 방식으로 난방운전에서 냉방운전으로 전환으로 제상을 하는 방식이다. 이 방식은 별도의 추가적인 장치가 필요하지 않아 제상방식이 간단하다는 장점은 있으

나 에너지 효율 감소와 운전율 단축으로 인해 지속적인 난방을 할 수 없다는 점 그리고 제상을 하기 위해선 냉방모드로 작동을 해야 하기 때문에 실내로 찬공기가 들어가는 콜드 블로워(cold-blow)현상이 생긴다는 결정적인 단점을 가지고 있다. 다음으로 전기히터 방식은 증발기에 전열식 히터로 열을 직접 공급하여 제상하는 방법으로 조작 및 제어가 용이하고 난방모드 상태를 유지하며 제상을 할 수 있다는 장점이 있지만 시스템이 난방모드로 작동 중이므로 계속적인 실외기로 유입되는 냉매의 팽창에 의해 실외기가 아주 낮은 온도 상태이기 때문에 제상시간이 고온냉매 방식과 역방향운전방식에 비해 상대적으로 길며 온도의 과도한 상승을 방지하기 위해 별도의 안전장치를 설치하여야 하고 전열선 노출되어 있기 때문에 서리가 녹으면서 발생하는 응해수와 전기의 반응으로 감전 혹은 누전 등의 안전상의 문제가 있다는 단점이 있다. 물분사(coil spray)방식은 실외기 표면에 10~20°C 물을 분사하는 방식으로 시스템에 추가적인 물 공급 및 가열장치가 필요하다. 하지만 이 방법은 별도의 장치를 장착하기 위한 추가적인 비용이 많이 들어가고 제상을 하기 위해 분사한 물에 의해 2차로 서리가 발생할 수 있다는 단점을 가지고 있다. O'Neal<sup>[7]</sup>은 역사이클 제상동안 냉동시스템의 동적 특성에 관한 연구를 통해 아큐뮬레이터(accumulator)와 팽창밸브가 시스템 응답에 큰 영향을 끼침을 밝혔다. Yaqub<sup>[8]</sup>은 고온냉매를 이용한 시스템 용량을 부하에 맞게 조절하는 방법에 대해 발표하였다. 고온냉매 주입방법은 다음의 3가지로 나눌 수 있다. 첫 번째 압축기 출구의 냉매 일부를 다시 압축기입구로 주입하는 방법, 두 번째 응축기 출구의 냉매일부를 압축기 입구로 주입하는 방법, 마지막으로 본 실험에 사용된 압축기 출구의 고온 냉매 일부를 실외기에 직접 주입하는 방법에 대하여 비교 분석하였다. Kirkman<sup>[9]</sup>은 압축기 입구 냉매 압력 조절을 위해 사용되고 있는 자동 고온냉매 우회방법에 대해서 설명하였다.

본 연구에서 사용한 열펌프는 착상 발생 지연을 위해 고온냉매 우회방법을 사용하고 있다. 원래 고온냉매 우회방법은 열펌프의 용량 제어방법으로 사용되어왔다. 이것은 압축기를 출구의 냉매 일부를 실내기로 보내지 않고 실외기 또는 압축기 입구로 우회시킴으로써 계절적 특성으로 부하량이 변하는 경우 열펌프의 난방 용량을 조절하는 방법이다. 하지만 착상이 발생한 실외기에 압축기 출구의 고온 기상 냉매를 보냄으로써 착상을 제거하며 착상의 성장을 억제할 수 있다. 또한 열펌프 실외기의 착상 감지는 광센서를 이용하였다. 광센서는 수광부와 발광부로 구성되어 있으며 실외기에 착상이 발생하였을 경우 수광부와 발광부의 신호 교환을 방해하게

되어 착상 발생을 감지하게 된다.

본 연구의 목적은 고온냉매 우회방법을 사용하는 열펌프의 열적 성능을 향상시키는 것이다. 이를 위해 열펌프에 내부 열교환기를 장착하였으며 고온냉매가 압축기 출구에서 실외기 입구로 우회될 때 실외기 팬의 속도를 변화시켰다.

## 2. 실험

### 2-1. 실험장치

실험 장치는 크게 3개 부분으로 나누어진다. 열펌프의 성능을 측정하기 위한 열량측정장치(psychrometric room), 실험 열펌프, 데이터 취득을 위한 데이터 취득장치로 구성되어 있다. 열량측정장치는 열펌프 성능 시험에 필요한 온도와 습도 조건을 실내와 실외로 나누어 조절한다. Fig. 1은 열량측정장치의 개략도를 보여주고 있다.

열펌프 시스템은 공기 열원 열펌프 시스템으로 크게 압축기, 사방밸브, 실내기, 팽창밸브, 실외기로 구성되어 있으며 착상 및 제상에 관한 성능 향상을 위해 고온냉매 우회배관과 내부 열교환기를 갖추고 있다. 실외 열교환기에는 착상의 감지를 위해 광센서를 이용한 착상 감지 장치가 설치되어 있다. Fig. 2는 본 실험에 사용된 열펌프 시스템의 개략도를 나타낸 것이며 열펌프의 용량은 압축기 기준으로 1.5 kW이다. 열펌프의 실내기는 크기가 465×561×61 mm(가로×세로×폭)이며 FPC(fin per centimeter)는 7이다. 실외기는 2열의 직교류형의 슬릿 환관 열교환기로 크기는 813.5×610×40 mm(가로×세로×폭)이며 FPC 6.7의 열교환기를 사용하였다. 고온냉매 우회배관은 배관의 입구와 출구에 니들 밸브를 장착하여 냉매의 유량을 조절하도록 하였으며 고온냉매 우회방법은 광센서에 의해 착상이 감지되었을 때 고온냉매를 2열의 실외기에 대하여 전열과 후열에 번갈아 가면서 주입된다. 고온냉매는 고온고압의 기체 상태로 실외기에 주입되고 여기서 열교환기의 착상을 일부 제거하고 수액기로 회수되는 방법을 사용하게 된다. 기존의 연구에서는 고온냉매 우회라인 중에서 출구부가 없이 입구부에 주입된 고온냉매가 실외기 출구에서 기존의 냉매와 합류되도록 제작되었지만 본 실험은 별개의 라인을 냉매가 흐르도록 제작되었다. 실외기의 착상 감지를 위해 장착된 광센서는 Byun *et al.*<sup>[10]</sup>이 연구한 방법으로 열교환기에 발광소자와 수광소자를 서로 마주보도록 설치하여 빛과 전기사이의 변환을 통해 스위칭 작업 및 이물질 감별을 할 수 있도록 만들어진 회로이다. 본 실험에서는 사용된 발광부와 수광부는 적외선 센서이다. 내부열교환기는 저온의 실외기 출구 냉매를 고온의 실내기 출구 냉매와 열교환을 시킴으로써 압축기 입구로 들

어기는 냉매의 온도와 압력을 상승시키고자 설치되었다. 난방운전시 압축기 입구로 들어가는 냉매의 온도와 압력을 상승시켜 압축기 출구의 온도와 압력이 상승시켜 난방량을 증가시킬 수 있다.

열펌프의 열량측정은 공기측 온도측정을 통해서 이루어지며 냉매측 온도측정은 T형 열전대(copper-constantan thermocouple)를 압축기 입·출구, 실외기 입·출구, 실내기 입·출구, 고온냉매 우회유로의 입·출구에 각각 하나씩 총 8개를 설치하여 측정되었다. 또, T형 열전대의 온도 보정을 위하여  $\pm 0.01^\circ\text{C}$ 의 오차를 가지는 열전대 보정기(thermocouple reference unit)를 사용하였다. 냉매측 압력은 온도측정부위와 동일한 8부분에 압력변환기를 설치하여 측정하였으며 이 압력변환기의 오차는  $\pm 0.5\%$ 이다. 냉매의 질량유량은 회전하는 물체에 상대적으로 작용하는 코리올리(coriolis)의 힘에 의해 발생하는 관의 진동과 굽힘 모멘트에 의한 변형량을 질량유량으로 변환시키는 Oval사의 질량유량계를 사용하였다. 이 제품은 작동유체의 점도나 밀도 등의 물성치에 영향을 받지 않는 질량유량계(mass flow meter)로  $\pm 0.2\%$ 의 측정오차를 가지고 있다. 열펌프의 압축기와 팬에 의해 소모되는 전력량의 측정은 칼로리미터에 부착된 Yokogawa사의 전력량계를 통해 측정을 하였다. 이렇게 측정된 온도, 압력, 질량유량, 전력량은 Yokogawa사의 RS-232C 변환기인 DA-100 모델을 사용하여 PC에 저장하는 동시에 모니터에서 각 측정값을 확인할 수 있도록 하였다. 습공기의 물성치는 ASHRAE handbook을 근거로 습공기 선도를 도식화하여 계산하였으며, 각 냉매의 물성치는 NIST의 프로그램 REFPROP 6.01<sup>10)</sup>을 서버루틴으로 사용하여 계산하였다.

## 2-2. 실험방법 및 조건

실험장치에 부착된 각 센서의 연결부와 열펌프 시스템 용접부 누설 여부를 판단하기 위해 고압질소를 사용하여 냉매 누설시험을 하였다. 냉매 누설이 없으면 진공 펌프로 열펌프 시스템내의 공기와 불용축가스를 완전히 제거하였으며 불용축가스가 완전히 제거된 진공 상태에서 R-22를 시스템에 충전하였다. 모든 실험은 ISO5151<sup>11)</sup> 표준제상 조건에서 공기 엔탈피식 열량계(air-enthalpy calorimeter)를 사용하여 실험하였다. 표준제상 실험조건은 실외 조건의 경우 건구온도  $2^\circ\text{C}$ , 습구온도는  $1^\circ\text{C}$ 이며 실내 조건은 건구온도  $20^\circ\text{C}$ , 습구온도  $12^\circ\text{C}$ 이다. 열펌프 성능 향상과 착상 제거 및 지연 효과를 얻기 위해 고온냉매 우회 주입방법을 사용하였다. 고온냉매 우회방법은 실외기 전면면적에 대하여 12개의 동일한 면적으로 분할되어 설치된 12개의 광센서 중 4개 이상이 착상을 감지하였을 때 압축기 출구의 고온의 기상

냉매를 실외기 1열과 2열의 입구에 각각 2분씩 번갈아가면서 주입하였다. 우회되는 고온냉매의 양은  $0.2\text{ kg/min}$ 이며 이것은 전체 열펌프 시스템의 순환 냉매량의 20%이다. 고온냉매 우회주입시 팬 속도는 최대속도 대비 0%, 30%(390 rpm), 60%(780 rpm), 90%(1170 rpm)로 조정하였다. 각 경우에 대해서 표준제상조건에서 제상시간 포함 약 210분의 난방운전을 실시하여 총난방량, 성능계수(COP)를 시간주기 역사이클 제상방법과 비교하였다. 시간주기 제상방법은 60분의 난방운전 후 10분간 열펌프를 역사이클로 가동하는 제상방법을 사용한다. 이 때 실내기의 팬은 찬공기가 실내로 유입되는 것을 막기 위해 가동하지 않게 된다. 고온냉매의 우회 주입은 열교환기 1열/2열에 각각 2분씩 번갈아가면서 주입하게 된다.

## 2-3. 데이터 처리

난방모드에 대한 열펌프 실외기의 공기측 열전달량( $Q_n$ )은 열량계 내에서 식(1)을 이용하여 구해진다.

$$Q_n = \left[ \frac{6m_a C_{pa}(t_{a2} - t_{a1})}{v_n(1+x_n)} + (K_1 + K_2)(t_{a2} - t_{a1}) \right] C_1 \quad (1)$$

여기서  $v_n$ 은 열량계에 설치된 노즐 입구부 공기의 비체적을 의미하며  $x_n$ 은 절대습도를 나타낸다.  $K_1$ 은 열량계에서 풍량을 측정하는 코드테스터의 열손실계수이며  $K_2$ 는 열펌프의 열손실이다.  $C_1$ 은 노즐에 대한 보정계수이다.

냉매측 열전달량( $Q_c$ )은 실외기의 입구와 출구에서 측정된 냉매의 온도와 압력을 이용해 NIST의 REFPRO 6.0으로부터 R-22의 엔탈피를 구하여 다음과 같이 계산하였다.

$$Q_c = m_c(h_{c,i} - h_{c,o}) \quad (2)$$

공기측 열전달량과 냉매측 열전달량의 에너지 평형은 8% 이내를 유지하고 있음을 확인할 수 있었다.

중기 압축식 열펌프의 COP는 다음과 같이 계산한다.

$$\text{COP} = \frac{Q_n [\text{kcal/h}]}{W_c [\text{kW}]} \quad (3)$$

여기서 열펌프의 소모동력,  $W_c$ 는 압축기, 실내기, 그리고 실외기 팬 등의 열펌프 전체 소모동력을 의미한다. 본 실험에서 COP에 대한 오차는  $\pm 2.2\%$ 이다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. 성능계수

고온냉매 우회라인을 가지며 내부열교환기를 장착한 공기 열원 열펌프 시스템에서 착상 발생시 실외기 팬 속

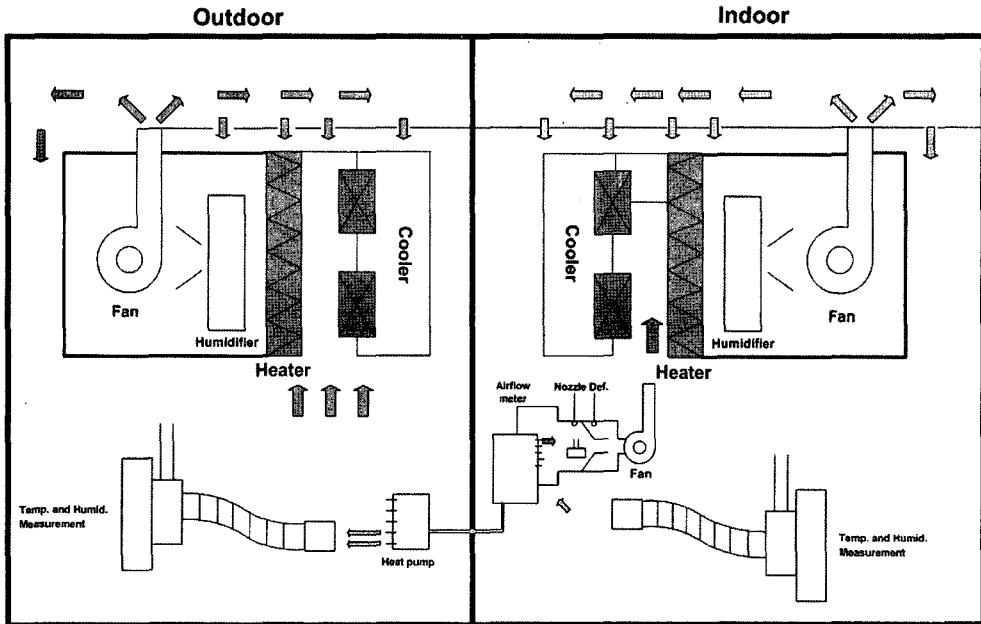


Fig. 1. Schematic of the psychrometric test room.

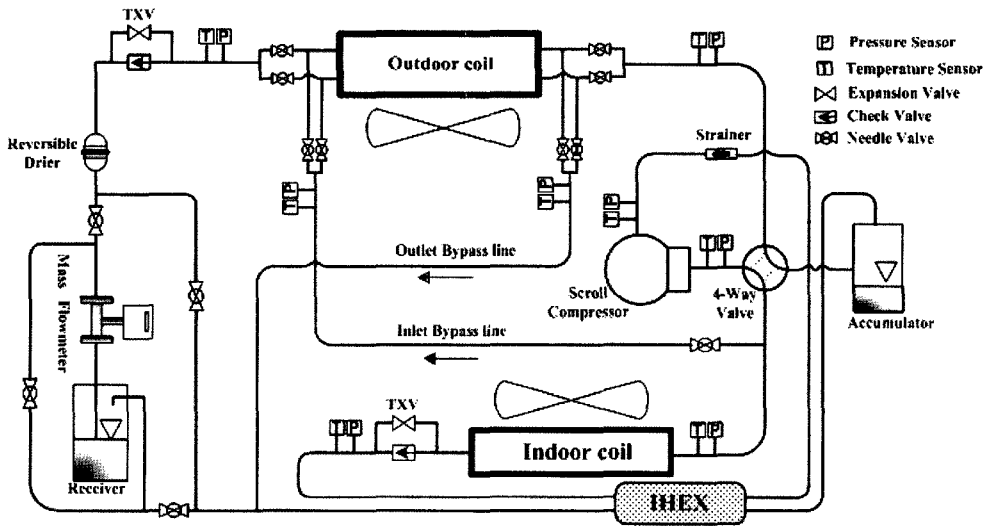


Fig. 2. Schematic of the test heat pump system.

도가 열펌프 성능에 미치는 영향을 연구하기 위해 우선 일반적인 공기 열원 열펌프에서 착상이 어떤 영향을 미치는지 먼저 확인할 필요가 있다. Fig. 1은 ISO5151의 표준제상 조건에서 열펌프를 어떠한 제상 시스템도 사용하지 않고 단순히 난방운전만 한 경우와 시간주기의 역사이클 제상방법을 사용한 경우, 그리고 역사이클 제상방법을 사용하는 대신 고온냉매 우회방법을 사용한 경

우의 성능계수 변화를 나타내고 있다. 단순 난방운전의 경우 열펌프 가동 64분 후 실외기의 착상 발생으로 성능계수가 급격히 감소하게 되며 80분 후에는 과냉의 액상 냉매가 압축기로 유입되어 압축기가 정상적으로 작동하지 못하게 되어 열펌프의 사용이 불가능하게 된다. 이 때 실외기의 착상 성장을 살펴보면 열펌프 가동 25분 후 실외기 전면면적의 30%에서 착상이 발생하며 40

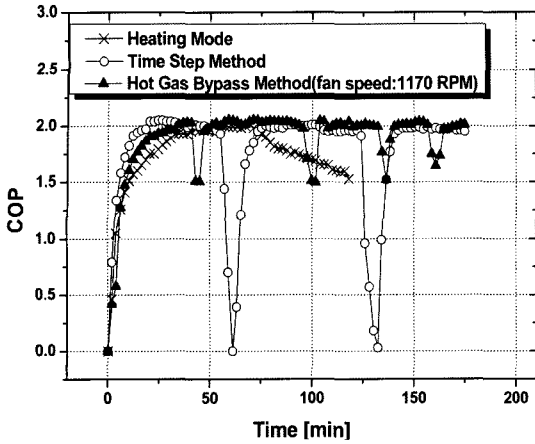


Fig. 3. COP variation of heat pump system.

분 후에는 70%, 60분 후에는 실외기 전면면적의 80% 이상까지 착상이 성장하게 된다. 시간주기 역사이클 제상방법의 성능계수 변화를 보면 60분간의 열펌프 난방 운전 후 역사이클을 가동하여 발생한 착상을 제거함으로써 열펌프의 성능계수 감소를 방지할 수 있으나 제상을 위한 역사이클 가동시 난방운전이 냉방운전으로 바뀌게 됨으로 열펌프의 성능계수가 0까지 떨어지게 된다. 또한 10분간의 역사이클 가동 후 다시 난방운전을 가동하게 되더라도 열펌프의 정상상태 도달까지는 약 2분 정도의 시간이 소요된다. 제상 및 착상지연을 위해 고온냉매 우회방법을 사용하는 경우는 광센서에 의해 실외기 전면면적의 40% 이상에서 착상 발생이 감지되면 압축기 출구의 고온냉매가 실외기 입구로 보내진다. 고온냉매가 우회되더라도 열펌프는 난방운전이 가능하게 되며 단지 냉매 우회로 실외기로 보내지는 냉매의 양이 감소하여 성능계수가 2에서 1.5까지 감소하게 된다. 180분 난방운전 시간 동안 시간주기 역사이클 제상방법은 3번의 역사이클 제상방법이 작동하지만 고온냉매 우회방법을 열펌프는 4번의 고온냉매 우회주입이 있었다. 고온냉매 우회방법의 경우 시간이 지나면서 고온냉매 우회주입 간격이 빨라진다. 이것은 실외기 표면의 착상이 제거 되더라도 열교환기 표면에 응축수가 잔존하여 다음 착상발생 및 성장 속도를 빨라지게 하기 때문이다.

Fig. 4는 착상 지연 및 제상을 위해 고온냉매 우회방법을 사용할 때 실외기의 팬 속도가 열펌프의 성능계수에 미치는 영향을 나타내고 있다. 고온냉매 우회와 함께 실외기 팬이 정지 하였을 경우와 실외기 팬 속도가 정상 속도의 30%(=390 rpm)일 경우는 210분 동안 고온냉매 우회주입이 6번 일어난다. 그러나 실외기 팬 속도가 정상속도의 60%(=780 rpm), 90%(=1170 rpm)인 경우

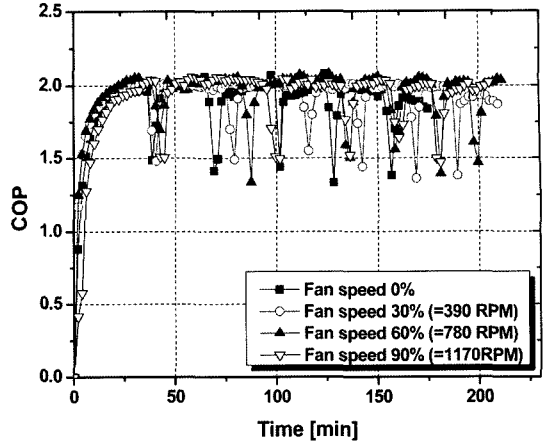


Fig. 4. COP variation according to fan speed of outdoor coil at heat pump with internal heat exchanger and hot gas bypass line.

는 고온냉매 우회 횟수가 5번 일어난다. 이것은 고온냉매 우회로 실외기 표면의 착상을 제거할 때 팬을 가동하는 것이 실외기 표면에서 착상이 녹은 후 남아 있는 응축수의 배출을 용이하게 해주기 때문이다.

3-2. 평균 성능계수 및 난방용량

Fig. 5는 내부열교환기를 장착하고 제상 방법으로 고온냉매 우회방법을 사용하는 열펌프 시스템에서 광센서가 착상을 감지하고 고온냉매가 우회될 때 실외기 팬 속도 변화에 따른 열펌프의 평균 성능계수를 나타낸 그래프이다. 시간주기 역사이클 제상방법과 비교하였을 때 팬 속도 0%, 즉 고온냉매가 우회될 때 팬이 정지한 경우 평균 성능계수는 시간주기 제상방법 보다 2.2% 향상되었다. 팬 속도가 정상속도의 30%(=390 rpm), 60%(=780 rpm) 90%(=1170 rpm)인 경우는 시간주기 제상방법 보

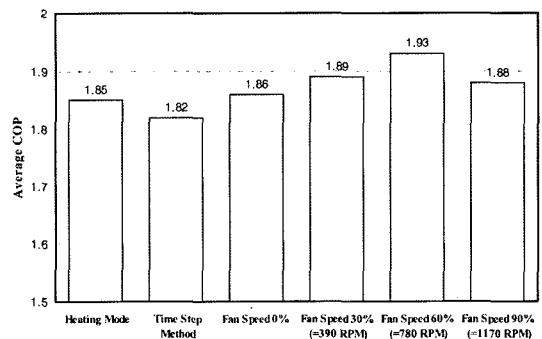


Fig. 5. Average COP according to fan speed of outdoor coil during the 210 min of heating mode operation.

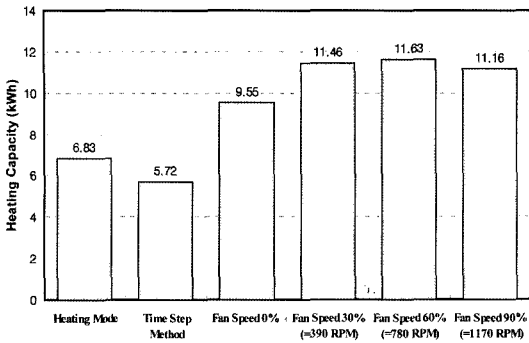


Fig. 6. Heating capacity according to fan speed of outdoor coil during the 210 min of heating mode operation.

다 각각 3.8%, 6.0%, 3.3% 높은 평균 성능계수를 나타냈다. 이것은 시간주기 제상방법의 경우는 역사이클 운전으로 열펌프의 성능계수가 0까지 떨어지는 반면 고온냉매 우회방법은 역사이클 운전이 아니므로 고온냉매 우회시에도 성능계수를 1.5 정도로 유지할 수 있기 때문이다. 고온냉매 우회시 실외기 팬 속도에 따른 열펌프의 평균 성능계수를 보면 실외기 팬이 정지하였거나 팬 속도가 정상속도의 30%인 경우가 팬 속도가 60%, 90%인 경우 보다 높은 평균 성능계수를 보였다. 이것은 고온냉매 우회 횟수가 1회 줄었기 때문이다. 특히 실외기 팬 속도가 60%(=780 rpm)인 경우가 90%(=1170 rpm)인 경우 보다 약 4% 높은 평균 성능계수를 보였는데 이것은 팬 속도를 줄일 경우 실외기에서의 소모동력도 줄어들기 때문이다.

Fig. 6은 내부열교환기를 장착하고 제상 방법으로 고온냉매 우회방법을 사용하는 열펌프 시스템에서 광센서가 착상을 감지하고 고온냉매가 우회될 때 실외기 팬 속도 변화에 따른 열펌프의 난방용량에 대한 비교 그래프이다. 고온냉매 우회방법을 사용할 경우 난방용량은 실외기 팬 속도와 관계없이 약 두배 정도 높았다. 이것은 시간주기 제상방법에서 역사이클 운전이 이루어질 때 실외기 팬이 정지하여 난방량이 없기 때문이다.

#### 4. 결 론

열펌프의 성능 향상과 실외기의 착상 문제를 해결하기 위해 고온냉매 우회방법과 내부열교환기를 사용한 열펌프의 난방 성능을 실외기 팬 속도 변화에 따라서 연구하였다. 고온냉매 우회방법은 시간주기 역사이클 제상방법 사용시 제상운전동안 열펌프의 큰 에너지 손실이 발생하는 단점을 해결하고자 사용되었으며, 내부열교환기는 실외기 출구와 실내기 출구를 각각 연결하여 냉매

의 온도차로 열교환이 되도록 시스템을 제작하여 열펌프 성능실험을 하였다. 모든 실험은 ISO 5151 표준제상조건인 실내 건구 20°C, 습구 12°C, 실외 건구 2°C, 습구 1°C의 착상조건에서 수행되었다. 연구는 열펌프의 일반 난방운전과 시간주기 제상방법, 그리고 고온냉매 우회방법의 성능계수와 난방용량을 비교 하였으며, 고온냉매 우회방법을 사용할 때 실외기 팬 속도에 따른 열펌프 성능을 실험하였다. 본 연구로부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

겨울철 열펌프 사용에 있어서 고온냉매 우회방법을 사용할 경우 시간주기 제상방법을 사용하는 것 보다 약 2.2~6.0%의 높은 평균 성능계수를 얻을 수 있으며 약 두 배 높은 난방용량을 얻을 수 있었다. 이것은 시간주기 제상방법은 제상을 위해 열펌프가 역사이클 운전이 이루어지므로 성능계수가 0로 떨어지기 때문이며 이때 콜드블로워를 피하기 위해 실내기 팬이 작동하지 않으므로 난방용량 또한 0이 되기 때문이다. 반면 고온냉매 우회방법은 착상을 위한 역사이클 운전이 이루어지지 않아서 평균 성능계수가 높으며 따라서 지속적인 난방도가 가능하다.

착상의 발생으로 고온냉매 우회가 이루어질 때 실외기 팬의 속도를 조절함으로써 고온냉매 우회 횟수를 줄일 수 있다. 고온냉매 우회시 실외기 팬이 정지하였거나 정상속도의 30%일 경우는 210분의 열펌프 가동시간 동안 6회의 고온냉매 우회가 이루어졌지만 실외기 팬 속도가 정상속도의 60%, 90%일 경우는 5회의 고온냉매 우회 횟수를 나타냈다. 이것은 고온냉매 우회로 실외기 표면의 착상을 제거할 때 팬을 가동하는 것이 실외기 표면에서 착상이 녹은 후 남아 있는 용해수의 배출을 용이하게 해주기 때문이다. 또 실외기 팬 속도가 60%인 경우가 90%인 경우 보다 약 4% 높은 평균 성능계수를 보였는데 이것은 팬 속도를 줄일 경우 실외기에서의 소모동력이 줄어들기 때문이다.

#### 사용기호

- Q : 열전달량, [kW]
- T : 온도, [K]
- P : 압력, [Pa]
- h : 엔탈피, [kcal/kg]
- m : 질량유량, [kg/s]
- W<sub>c</sub> : 소비전력 [kW]

#### 하첨자

- i : 입구
- o : 출구

r : 냉매  
a : 공기

### 참고문헌

1. Kondepudi, S.N.; O'Neal, D.L. "The effect of different fin configuration on the performance of finned-tube heat exchanger under frosting conditions", ASHRAE Transactions, 1990, 96(2), 439-444.
2. Chen, H.; Thomas, L.; Besant, R.W. "Measurement of frost characteristics on heat exchanger fins Part II : Data and Analysis", ASHRAE Transactions, 1999, 105(2), 294-304.
3. Watters, R.J.; O'Neal, D.L. "Effect of fin staging on Frost/Defrost Performance of a Two-Row Heat Pump Evaporator at standard test conditions", ASHRAE Transaction, 2001, 240-249.
4. Mei, V.C.; Domitrovic, R.E. "A Frost-Less Heat Pump", ASHRAE Transactions, 2002, 452-459.
5. 지성; 이관수. "환-관 열교환기의 착·제상 거동에 대한 표면처리의 영향에 관한 실험적 연구", 대한기계학회논문집 B권, 2000, 24권(8), 1062-1068.
6. 황윤제; 이원희. "A Frost-less Heat Pump", 설비저널, 2002, 31(3), 53-58.
7. O'Neal, D.L.; *et al.* "Refrigeration system dynamics during the reverse cycle defrost", ASHRAE Transaction, 1989, 89(1), 689-698.
8. Yagub, M.; Zubair, S.M.; Khan, J. "Performance evaluation of hot-gas by-pass capacity control scheme for refrigeration and air-conditioning systems", Energy, 2000, 25, 543-561.
9. Kirkman. "Automatic hot gas bypass, Air conditioning, heating and ventilating", 1986, 65(1), 64-68.
10. Byun, J.-S.; Jeon, C.-D.; Jung, J.-H.; Lee, J. "The application of photo-coupler for frost detecting in an air-source heat pump", International Journal of Refrigeration, 2006, 29(2), 191-198.
11. McLinden, M.O.; Klein, S.A.; Lemmon, E.W.; Peskin, A.P. "NIST thermodynamic and transport properties of refrigerant and refrigerant mixtures (REFPROP V6.01)", NIST, Gaithersburg, MD, 1998.
12. ISO 5151. "Non-ducted air conditioners and heat pumps-testing and rating for performance", 1994.