

물-물 터보압축기 히트펌프의 지열 이용 방안

일반원고

이충국* 김진상**

*인하대학교 건축공학과 박사과정, ** (주)엑서지엔지니어링 기술연구소

1. 서론

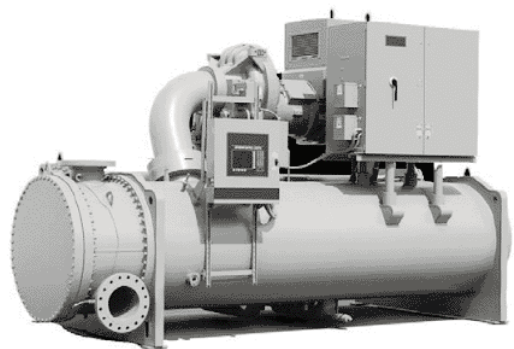
지열히트펌프는 현재 냉방에 이용되는 시스템 중에서 가장 효율인 높은 시스템으로 알려져 있다. 국내에서 신재생에너지의 하나로 분류되어 보급되기 시작한 지열히트펌프는 그 규모가 증가하고 있다. 신축 공공건물에 대하여 일정비율의 신재생에너지 보급이 의무화된 이후로부터 공공건물에서 지열히트펌프의 보급이 크게 증가하고 있다. 국내 보급 초기에는 소규모에 국한되어 있던 지열히트펌프의 시설 규모가 증가하고 있다.

최근 고유가의 지속과 더불어 온실가스 배출저감을 통한 기후변화에 대응하기 위하여 하천수, 해수 등의 지표수를 열원으로 하는 히트펌프에도 관심이 크게 증가하고 있다. 지열히트펌프의 열원은 지중토양, 지중암반, 지하수, 지표수등 형태가 다양하다. 효율이 높은 운전조건에서 히트펌프는 온실가스 배출 절감효과가 우수하여, 선진국에서는 온실배출 절감을 위하여 보급을 지원하여 왔다.

대용량에 적용 타당성이 높은 터보압축기 히트펌프는 높은 정격 성능과 우수한 제어 품질을 보이는 터보냉동기와 기술적으로 동일한 기술을 기반으로 하고 있다. 최근에는 정격성능이 더욱 개선되었으며, 또한 부분부하 운전범위와 성능이 크게 개선되었다. 높은 효율을 특성으로 하는 지열히트펌프 시스템에 높은 효율의 터보압축기 히트펌프를 적용함으로써, 시스템의 성능을 더욱 향상시킬 수 있다.

미국 등지에서 널리 보급된 전통적인 지열히트펌프 기술은 건물이나 부하가 있는 곳에 소용량 히트펌프를 분산하여 설치하여 운전하는 것을 기반으로 발달하여 왔다. 국내에서는 물-물 히트펌프 유니트등의 열원설비를 기계실에 집중시켜 설치하는 방식이 널리 이용되고 있다. 용량이 작은 용량의 히트펌프 유니트가 기계실에 필요이상으로 많이 여러 대가 설치되어 운전하고 있으며, 이로 인하여 기계실에 많은 설치면적이 필요하고, 시공 및 제어비용이 증가하고, 유지 보수의 발생 가능성이 높아지며, 시스템이 필요 이상으로 복잡해진다. 또한 유니트를 기동/정지를 통하여 부하에 대응하도록 운전하는 경우가 많으므로 제어 성능과 품질이 떨어진다.

터보압축기를 채택하는 히트펌프는 대당 약 300RT 이상의 대용량에 주로 사용되고 있다. 최근 터보냉동기 분야의 제어기술이 발전하고, 부분부하 성능에 대한 최소 성능요건이 강화되었다. 터보냉동기와 기술적으로 동일한 터보압축기 히



[그림 1] 물-물 터보압축기 히트펌프의 외관(Temos,2006)

2. 본론

트펌프의 정격부하 성능이 다른 시스템에 비하여 월등히 높으며, 부분부하 성능은 더욱 향상되었다. 연속적으로 부하를 증감할 수 있는 특성이 우수한 터보압축기 히트펌프는 대용량의 지표열, 지중열, 지표수, 지하수를 이용하는 고효율 지열히트펌프 시스템의 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 이와 동시에 운전 및 제어가 간편해지고 높은 시스템 신뢰도를 유지할 수 있다.

2.1 배치 방식

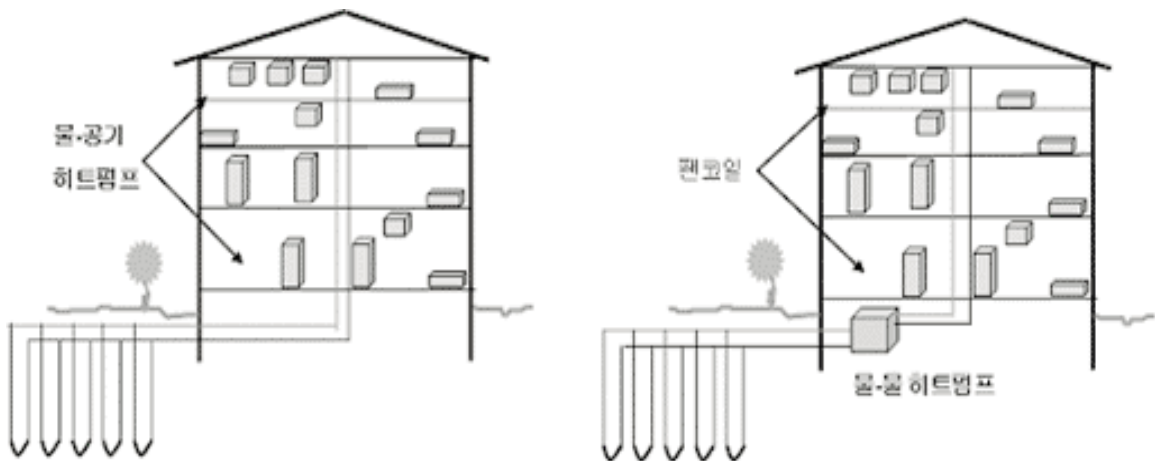
지열히트펌프는 이용하는 방식에는 그림 2와 같이 소용량의 히트펌프 유닛을 부하 구역별로 분산하여 배치하는 분산배치방식과 히트펌프 유닛을 기계실 등에 모아서 설치하여 건물 전체로 공급하는 중앙집중방식으로 나눌 수 있다.

분산배치방식은 물-공기 히트펌프 유닛을 이용하는 것이 일반적이며 유닛당 냉방능력이 대부분 1RT미만부터 6RT급까지 비교적 소용량에 국한되어 이용된다. 이에 비하여, 중앙집중방식에서 널리 사용되는 물-물 히트펌프 유닛은 5RT부터 35RT까지의 범위가 일반적이다. 국내에서는 물-공기방식의 분산배치방식의 보급은 미미한 편인데 비하여, 주거시설은 물론이고 일반적인 상업용 건물에서도 물-물 히트펌프를 이용하는

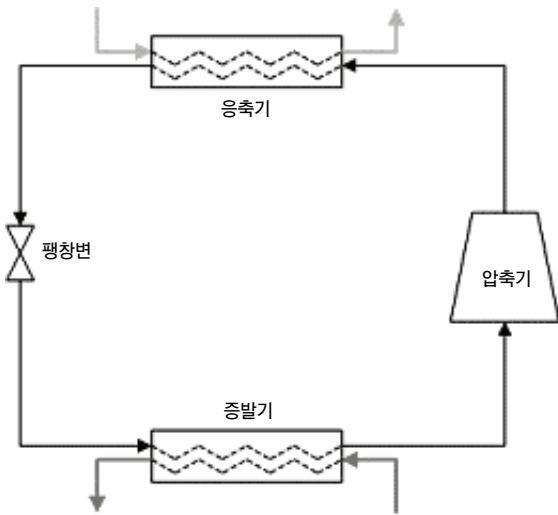
중앙집중식의 보급이 대부분을 차지하고 있다. 물-공기 히트펌프를 이용한 분산배치방식이 제어하기 편리하고 에너지 절약효과가 높음에도 불구하고 중앙집중방식을 선호하는 이유는 주거 시설의 바닥 난방방식과 더불어, 건축설비설계자들이 흡수식 냉온수기나 냉동기등을 이용하여 건물 전체에 냉온수를 공급하는 방식에 익숙한 데에서 기인한다고 분석된다.

2.2 구성요소

기본적인 히트펌프 유닛은 일반적인 에어컨이나 냉동기와 같은 구성 요소로 구성되어 있다. 그림 3과 같이 응축기와 증발기의 열교환기와, 열교환기에서 열교환이 원활하게 일어날 수 있도록 냉매의 압력을 유지하면서 냉매를 사이클 전체로 공급하는 역할을 수행하는 압축기, 고압의 액체 냉매를 저압 상태로 감압시키는 팽창장치, 그리고 두 열교환기에서 응축기와 증발기의 역할을 교체하는 사방변이 있다. 히트펌프 유닛 중에서는 물-공기 히트펌프와 물-물 히트펌프가 일반적으로 널리 사용되는데, 물-물 히트펌프는 응축기와 증발기 모두가 냉매와 물 사이에서 냉매의 상변환을 수반하면서 열교환이 이루어지는 방식이다.



[그림 2] 분산배치방식 히트펌프 시스템과 중앙집중방식 히트펌프 시스템



[그림 3] 히트펌프의 주요 구성 요소

2.3 터보 압축기

(1) 터보압축기 개요

압축기에는 크게 용적식 방식과 동적 방식으로 구분할 수 있으며, 기존에 히트펌프에는 용적식이 널리 사용되어 왔다. 동적 방식에는 원심식 및 축류식이 있으며, 원심식 압축기는 대형냉동기 분야에서 세계적으로 널리 사용되어 왔으며, 국내에서는 주로 터보압축기라고 불린다(이후 터보압축기라 칭함). 지열히트펌프 시스템에서 사용되는 널리 사용되는 물-물 히트펌프 유니트에는 스크롤 압축기가 널리 사용되고 있으며, 스크롤 압축기는 동일한 용량에서 가장 높은 효율을 보이며, 소음이 낮으며, 신뢰도가 높은 압축기이다.

(2) 냉매

터보 압축기에는 R123이 통용되던 냉매이나, 최근에 HFC계열인 R134a로 바뀌고 있다. 현재 터보 압축기를 채택하고 있는 히트펌프에서는 R134a냉매가 사용되고 있다. 오랫동안 사용되어 온 R123은 오존파괴지수(ODP)가 낮으면서 지구온난화지수(GWP)도 낮은 편이나, 최근에는 추세에 따라 오존파괴지수가 없는 HFC계열의

[표] R134a의 주요 특성

| 주요 항목 | 값 |
|---------------------------|-------------------------|
| Molar mass | 102.03 g/mol |
| Triple point temperature | -103.3 °C |
| Boiling point temperature | -26.07 °C |
| Critical temperature | 101.06 °C |
| Critical pressure | 4.059 MPa |
| Critical density | 511.9 kg/m ³ |

R134a로 전이되고 있다. R134a냉매(표 1)는 임계온도가 다른 냉매에 비하여 높아서 고온의 온수를 생산할 수 있는 장점도 가지고 있다.

(3) 구조

터보 압축기는 비교적 단순한 구조를 가지고 있으며, 베어링을 제외하면 접촉하는 기계요소가 없는 특징을 가지고 있다. 압축기로 유입되는 기체 냉매에 회전에너지를 전달하는 임펠러, 그리고 임펠러 끝단에서 나오는 고속 냉매의 운동에너지를 압력으로 변환시키는 디퓨저, 디퓨저에서 나온 고압의 기체냉매를 압축기 출구로 모아주는 볼류트가 주요한 압축을 수행하는 요소이다. 임펠러의 앞에는 입구 가이드 베인이 설치되어 유량을 조절하는 역할을 수행한다(그림 4, 5).

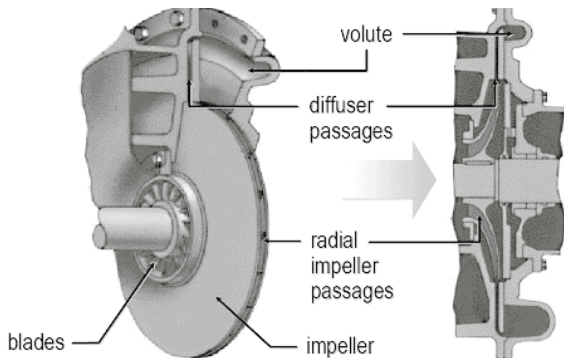
임펠러가 장착된 축은 하우징에 설치된 베어링에 의하여 지지되어 안정적으로 회전하도록 하는 역할을 수행하며, 임펠러에 의하여 압축된 고압의 기체 냉매가 누설되지 않도록 시일이 설치되어 있다. 임펠러가 장착된 축은 기어박스에 연결되며, 기어박스를 통하여 전동기에 연결된다. 기어박스과 베어링은 윤활류에 의한 냉각이 필수적이므로 윤활류 냉각장치가 설치된다.

(4) 특징

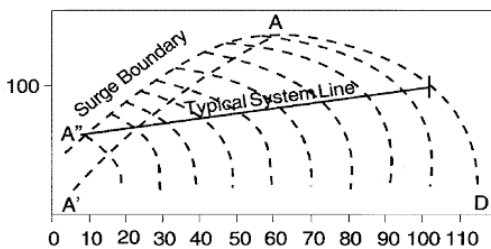
터보 압축기는 독특한 작동 범위를 갖는데, 유량과 압축비의 관계로 그래프를 그리면 팬(Fan)과 유사한 형상을 갖는다. 가로 축에 표시되어 있는 압축기에 적용되는 유량은 압축기나 히트펌프의

부하로 볼 수 있으며, 세로축에 표시되는 압축비는 증발기와 응축기의 온도차이로 볼 수 있다. 상단 왼쪽에 있는 구역은 Surge가 발생하는 구역으로 터보 압축기의 작동이 불가능한 구간이며, Surge가 발생하기 시작하는 구간을 Surge Boundary로 표시하고 있다.

압축기 개발자는 Surge의 발생 범위를 줄여서 작동 범위를 크게 하기 위하여 다양한 기술을 개발하여 왔다. 그림 5에서는 가변 디퓨저를 사용하여 A-A'의 Surge Boundary를 A-A''로 확장하였다. 원심식 압축기를 적용한 냉동기에 제어기술이 발전하기 이전에는 원심냉동기의 작동범위가 Surge에 하여 크게 제약을 받았으나, 마이크로프로세서를 이용한 제어기술이 보편화 되면서 원심냉동기의 작동범위는 크게 확장하였다. 냉동기나 히트펌프의 작동 조건은 제어기에 의하여 선위에서 정해지며 Typical System Line은 해당



[그림 4] 1단 원심식 압축기의 구조 (Trane사)

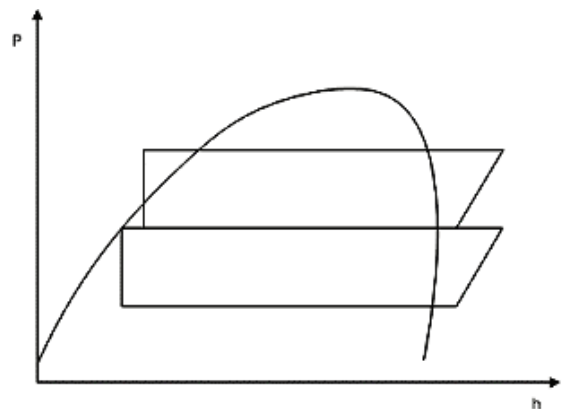


[그림 5] 원심식 압축기의 성능 맵(McQuay사)

냉동기나 히트펌프의 작동범위를 나타낸다. 적용하는 온도차가 바뀌지 않는 경우에는 정격 지점(100%유량 및 100% 응축기 증발기 온도차)인 지점에서부터 10% 부하까지 부분부하에서 작동할 수 있다. 2대의 압축기를 장착한 모델에서는 정격부하의 5%까지 운전할 수 있다. 온도차가 증가하는 경우에는 정격용량의 20%정도까지 부분부하 운전을 수행한다. 인버터의 도입으로 모터의 회전수를 가변하는 기술의 도입등으로 인하여 터보 압축기를 적용하는 히트펌프는 가장 적용범위가 넓은 부분부하 성능이 우수한 것으로 인식되고 있다.

(5) 압축기의 적용

이러한 터보압축기 히트펌프는 여러 분야에 적용되고 있으며, 해수 및 하천수등 지표수를 이용하는 경우에도 널리 적용되고 있다. 터보압축기 히트펌프는 대당 8,000RT급까지 사용되고 있는 것으로 알려져 있으며, R134a냉매를 적용하는 경우 온수 온도는 90℃에 달하고 있다. Hydrocarbon계열 냉매를 사용하는 경우에는 90℃를 넘는 온수를 제조할 수 있는 터보압축기 히트펌프도 운전 중에 있다. 60℃ 이상의 고온을 생산하는 경우에는 1단 압축대신 2단압축을 사용하고 있다 (그림 6).



[그림 6] 2단 압축 - 2단 팽창 사이클의 Ph선도

2.4 열교환기 및 기타 부품

터보 압축기를 적용한 히트펌프의 열교환기는 원통다관식(Shell & Tube) 열교환기가 채택된다. 원통다관식 열교환기는 냉동기, 히트펌프는 물론이고 산업분야 전체에 가장 널리 사용되는 열교환기로서 적용범위가 넓고, 신뢰성과 효율이 매우 높다. 냉동기 분야에서 원통다관식 열교환기는 열교환기 내부에 설치된 튜브의 길이 및 배치 형식에 따라 다양하며, 일반적으로 1 Pass, 2 Pass, 3 Pass 형식이 사용된다. 터보 압축기를 적용한 히트펌프에서도 일반적으로 3 pass 형식의 원통다관식 열교환기가 널리 이용되고 있다(그림 7). 3 Pass 방식이 적용되는 경우 냉매의 포화온도와 순환유체 출구온도와의 온도차를 적게 유지할 수 있으며, 이 온도차를 Approach 온도라 부르는데, 히트펌프의 효율을 향상시키며 높은 온도의 온수를 생산하는데 효과적이다.

압축기와 열교환기 이외에 팽창변이 부착되어 고압의 액상 냉매를 저압으로 낮추는 역할 수행하여 전자식 팽창변과 열감응식 팽창변이 사용되고 있다. 전자식 팽창변은 온도제어특성이 우수하나, 비교적 소용량에 국한되어 있다. 약 300RT 이상의 용량에서는 열감응식 팽창변이 사용된다.

2.5 부분부하

(1) 규정

ARI가 제정한 1998년판 550/590은 냉동기의 성능에 대한 성능을 정하고 있다. 정격 성능(Full Load) 이외에 통합 부분부하 성능값(IPLV, Integrated Part Load Value)을 지정하고 있다.

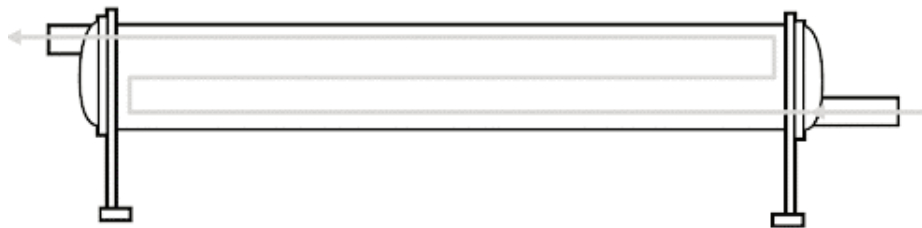
ASHRAE 90.1의 2001판부터 모든 냉동기에 정격부하와 IPLV의 성능 최소값을 정하고 있다. 이로 인하여 냉동기의 부분부하 성능향상은 중요한 과제가 되었다. IPLV는 100%, 75%, 50%, 25%의 4개 부하조건에서 성능을 측정 한 후에 실제 운전조건에 가까운 비중을 곱하여 구한다.

$$IPLV=0.01A+0.42B+0.45C+0.12D$$

여기서 문자 A,B,C,D는 각각 100%, 75%, 50%, 25%의 부하상태 성능값을 의미한다. 이를 보면 IPLV에는 정격부하의 영향은 거의 없고, 50%부하와 75%부하 상태 값이 영향을 가장 크게 미친다. 터보압축기 히트펌프는 터보냉동기의 기술을 그대로 이용하는 것으로서 부분부하운전에 대한 우수한 특성을 가지고 있다. 또한 제어기술의 발전으로 인하여 부드럽게 연속적으로 부하를 증가시키거나 감소시키는 것이 장점이다.

(2) 터보압축기 히트펌프의 부분부하 특성

히트펌프마다 정격성능은 물론이고 부하변화에 따른 성능값의 변화형태도 다르지만, 터보압축기 히트펌프는 다른 제품에 비하여 정격성능은 물론이고 부분부하 상태에서 우수한 성능을 갖는다. 정격부하 성능에서보다 상당히 넓은 범위의 부분부하에서 우수한 성능을 나타낸다. 즉 1대의 제품으로 부하가 정격부하에서부터 정격부하의 20% 범위까지는 우수한 성능으로 히트펌프를 작동할 수 있다는 것이다. 수직축에는 성능값으로 kW/ton이 사용되고 있는데 이는 냉동능력



[그림 7] Three Pass 열교환기의 튜브내 유동 형상

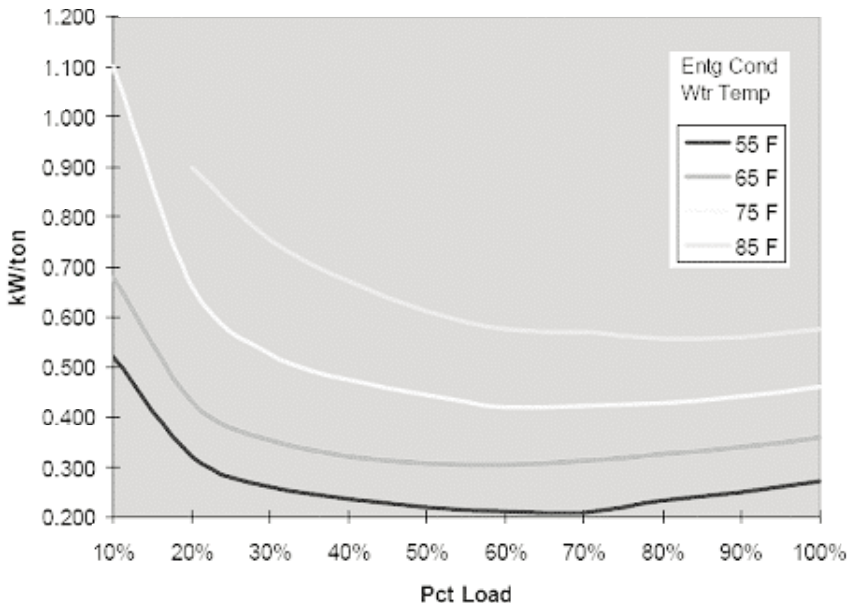
1ton(RT)당 소요되는 동력을 kW로 표시한 값으로서 여기에 약 3.52를 나누면 COP가 된다. 1 kW/ton은 COP로 3.52이며, 0.5 kW/ton은 COP로 표시하면 7.03이다.

터보압축기 히트펌프의 높은 효율을 유지하면서 운전하기 위해서는 너무 적은 부하로 운전하지 않는 것이 중요하다. 응축기와 증발기의 온도차에 따라 다르지만, 약30% 부분부하까지는 높은 성능을 유지한다고 볼 수 있다(그림 8). 하지만 장시간 10%부하 내외로 운전하는 것은 터보압축기 히트펌프의 COP를 떨어뜨리므로, 적용되는 히트펌프의 대수를 늘려서 대당 작용하는 부분부하 상태를 개선하는 것이 필요하다. 단시간 동안에만 10~20% 정도의 부하로 운전하고 나머지 시간에 높은 부분

부하로 운전하는 것은 시스템의 종합적인 성능에는 큰 영향을 미치지 않는다고 말할 수 있다.

2.5 성능

미국의 Federal Energy Management Program이 연방정부 건물에 추천하는 냉동기의 종류와 사양은 다음과 같다. 정격부하 대신 IPLV를 냉동기의 선정기준으로 사용하고 있다. 용적식 압축기를 적용하는 냉동기 중에서 효율이 우수한 스크류 압축기를 적은 용량 냉동기에서 추천하고 있으며, 대규모 냉동기에는 터보 압축기를 사용하는 냉동기를 추천하고 있다(표 2). 터보 압축기를 사용하는 히트펌프에서도 동일한 결과가 예측되며, 대용량에서는 터보압축기를 적용하는 히트펌



[그림 8] 부하별 성능값의 변화 (York사)

[표 2] FEMP의 추천 냉동기와 추천 사양

| 압축기 형식 | 추천 IPLV (kW/ton) | 현재 최고 IPLV (kW/ton) |
|---------|------------------|---------------------|
| 원심식 압축기 | 0.56 | 0.47 |
| 스크류 압축기 | 0.64 | 0.58 |

프가 정격 효율은 물론이고 부분부하에서도 가장 효율이 높아서 정해진 기준을 만족할 것으로 예상된다.

2.6 적용 방안

지열히트펌프 방식은 개방형과 밀폐형으로 분류할 수 있다. 개방형은 지표수 또는 지하수를 이용하는 경우에 많이 이용하는 방식으로 지중열 루프가 밀폐되지 않은 시스템이다. 대표적인 지열이용방식인 수직밀폐형을 적용하는 히트펌프 시스템은 최근 규모의 증가에 따라서 300~400RT 규모를 넘는 프로젝트도 증가하고 있다. 또한 지하수나 지표수 그리고 해수를 대규모로 적용하는 경우에는 이 보다 훨씬 큰 프로젝트가 예상된다. 이러한 대규모 프로젝트에서 터보압축기 히트펌프의 적용은 기존의 소용량 물-물 히트펌프를 여러 대 설치하는 것에 대한 경제성이며 효율적으로 우수한 대안이 될 수 있다.

예를 들어 2,000 RT의 부하를 적용하는 프로젝트의 최소부하가 400RT라고 가정하자. 최소 부하로 운전하는 시간이 작은 경우에는 2,000RT 유니트 1대로 적용이 가능하며, 최소 부하 운전시간이 어느 정도 긴 경우에는 2대 이상을 설치하여 히트펌프 유니트 1대당 적용되는 최소 부분부하 비율을 개선한다. 이는 히트펌프 유니트에 해당되는 최소 부하로 운전하는 경우의 COP를 고려하여 판단할 수 있다. 이러한 대규모 프로젝트에 35RT급 소용량 물-물 히트펌프를 적용한다면 57대의 계산을 얻을 수 있다. 이 경우 기계실에 57대의 실내 배관공사 및 사용 공간을 고려하면, 터보압축기 히트펌프를 1대 운전/1대 보조이거나 2대 운전/1대 보조로 구성하는 것이 훨씬 경제적인 방안이다. 또한 57단계로 부하에 대응하여 운전할 수 있는 점이 장점으로 보일 수도 있지만 터보압축기 히트펌프는 부하변동에 연속적으로 대응하므로 부하변동에 대응할 수 있는 능력 및 온도제어능력은 터보압축기 히트펌프가 더 우수하다. 또한 시공 및 제어 측면에서 1~2대의 적은 대

수로 히트펌프를 적용하는 것이 유리하며, 시스템 측면에서도 매우 단순하고 모니터링 및 관리에 매우 편리하다. 또한 많은 수의 히트펌프 유니트 및 제어 밸브류가 장착되므로 적은 수량의 터보압축기 히트펌프를 적용하는 것이 유지 측면에서도 훨씬 유리하다.

지열히트펌프에서 많은 숫자의 소용량인 유니트를 분산 배치하는 것이 유리한 것은 물-공기 히트펌프의 경우이다. 이 경우에는 히트펌프 유니트 마다 또는 냉난방 구역마다 냉방과 난방을 각각 선정할 수 있는 점은 사용자에게 많은 편의성을 제공하며, 냉난방 구역별로 냉난방이 혼재되는 경우에 지열히트펌프 시스템의 효율이 매우 높다는 점은 경제성을 사용자에게 제공한다는 점에서 널리 사용되고 있다.

여러 대의 물-물 히트펌프 유니트를 병렬로 연결하거나, 또는 직렬을 혼합한 병렬로 연결하여 냉방이나 난방을 수행할 때에는 위에서 설명한 물-공기 히트펌프를 분산 배치하는 경우에 얻을 수 있는 장점을 얻을 수 없다. 중앙집중방식의 냉난방의 경우에는 제어기술의 향상으로 운전범위가 넓어지고, 정격부하 운전효율 뿐만 아니라 부분부하 운전 효율이 크게 향상된 터보압축기 히트펌프를 적용할 때, 필요한 부분부하에서도 높은 효율을 유지하면서 유니트의 개수를 최소화하는 것이 바람직하다. 이는 시공비용 측면에서 그리고 운전비용 측면에서 경제적인 동시에, 터보압축기 히트펌프 제품의 높은 품질 및 표준화로 인하여 유지보수가 간단하고, 적은 수의 유니트를 모니터링 함으로 인하여 운영적 측면에서 또한 간편해진다.

또한 터보압축기 히트펌프는 높은 온수를 생산할 수 있다. 히트펌프에 사용되는 대부분의 터보압축기가 R134a를 적용함으로 인하여, 기존의 R22나 R410a를 사용하는 용적식 압축기에 비하여 높은 온수를 생산할 수 있다. 최고 생산온수온도가 90 까지 생산할 수 있는 제품도 설치되어 운전중이다. 그러나 동일한 열원에서 높은 온수를

생산하는 것은 시스템의 COP를 떨어 뜨리게 되므로, 가능한 낮은 온도의 온수를 생산하여 공급하는 것이 히트펌프의 효율을 높이는 방안이다. COP가 낮아지면 온실가스 배출 절감효과가 낮아지게 되므로, 고효율 냉난방 시스템으로 그리고 신재생에너지로 보급되고 있는 지열히트펌프의 보급 타당성이 약화된다. 특히 온수온도와 더불어 지열히트펌프의 성능에 영향을 미치는 다른 인자들도 최적화하여 시스템이 높은 COP를 유지하도록 하는 것이 필요하다.

3. 결론

터보압축기 히트펌프는 대규모 프로젝트에 널리 사용되고 있다. 각종 폐열을 이용하는 프로젝트 이외에 지표수를 이용하는 프로젝트에도 널리 사용되고 있다. 지표수를 이용하여 지역냉난방에 냉온수를 공급하는 대규모 시스템에서 부터 200RT이내의 작은 규모의 프로젝트에 적용된 사례에 까지 다양하다. 터보압축기 히트펌프는 약 150RT이하 용량부터 모델이 출시되어 있으나, 경제적인 규모는 약 300RT이상으로 예상된다. 약 500RT이상의 규모의 터보압축기 히트펌프를 적용하는 경우에 경제성은 우수하고, 설치공간을 줄일 수 있고, 유지보수가 간편하다는 등의 여러 가지 장점을 갖는다.

설계기술 및 제어기술의 발달로 인하여 10%의 낮은 부분부하까지 운전할 수 있으며, 부분부하에서 효율이 우수한 특성을 갖으며, 연속적으로 부하증가나 부하감소 운전이 부드럽게 이루어진다.

지표수, 지하수를 이용하는 경우 이외에, 지중열을 이용하는 히트펌프 시스템과 같은 경우에도 적용성이 매우 높다. 규모가 있는 프로젝트에서 히트펌프 유닛 1대당 적용되는 최저부하를 고려하여 효율적이면서 경제적인 방식으로 물-물 히트펌프 유닛을 결정하는데, 물-물 터보압축기 히트펌프는 기존의 문제를 해결할 수 있는 하나의 해결책이 될 것이다.

시스템의 효율에 영향을 미치는 인자를 최적화하고, 효율이 높은 히트펌프 유닛을 적용하여 시스템의 COP를 향상시킨다. 지열히트펌프 시스템의 COP를 높게 운전하여 많은 양의 온실가스 배출절감을 달성하고, 동시에 경제적인 효과를 극대화하는 것이 지열히트펌프 시스템의 보급 목적을 달성하는데 중요하다.

참고 문헌

1. ASHRAE Handbook, HVAC Systems and Equipment, 2004
2. ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, 2004
3. Temos E. Using Waste Heat For Energy Savings, ASHRAE Journal, pp.28~35, No. 4, Vol. 48, 2006
4. 김진상, 친환경건축물 인증제도에서의 신재생에너지 적용, 설비/공조 냉동 위생 2006년 7월호, pp.77~83