

◀ 解 說 ▶

Heat Pump의 實用性과 設計 應用上의 問題點

尹 京 佑

The Heat Pump System

Heat Pump(이하 HP로 약칭)는 냉방을 하는 역할외에 난방 계절 중에는 바깥 熱源으로 부터 열을 빼앗아 압축일에 상당하는 열과 함께 속내로 공급하는 공조기를 일반적으로 지칭하는 것으로 널리 알려져 있는 그릇된 개념과는 달리 HP와 냉동 cycle 간에는 근본적 차이점은 없다 HP는 증발기에서의 저온 효과를 노리는 것과 아울러 응축기에서의 고온 효과를 노린다.

Rankin cycle이 물론 HP의 실제 cycle에 성능상으로 가깝기는 하여도 두 온도간에 가장 높은 성능을 가진 이상적인 Carnot cycle이 성능에 영향을 미치는 변수를 연구하는 데는 더욱 유용하다. 즉 Carnot cycle에서는 열원의 온도가 높을수록 그리고 열방출온도가 낮을수록 HP의 성능계수(COP)가 높다는 사실만으로서도 HP의 중요한 실용 응용상의 요점을 파악할 수가 있다.

HP의 열원으로는 COP, 운영, 시설비, availability 그리고 냉방 cycle 시의 열방출 매체로서의 효율등에 따라 장단점이 각기 다른 공기, 물, 땅 그리고 태양열을 사용할 수 있으나 주택이나 소규모 상업용으로서의 역시 air-to-air HP가 가장 보편화 되어있어 주로 이를 중심으로 기술하려고 한다.

그리고 간단히 HP의 기본냉매 유로를 검토해보자(Fig.) HP의 중요한 설계, 응용상의 문제

점을 이해하는 데는 냉매유로를 바꾸는 Reversing Valve (RV)와 팽창변을 통하는 냉매 유로 변경에, 그리고 RV와 압축기 사이에는 유로가 바뀌지 않는다는 점을 유의할 필요가 있다.

개발에 대한 역사적 고찰

HP의 발전과정에 대한 역사적 고찰은 여러모로 현대 산업의 기술 개발상의 문제, 혹은 시장 개척에 대해서 중요한 교훈을 준다는데 그 의의를 찾아 볼 수 있다.

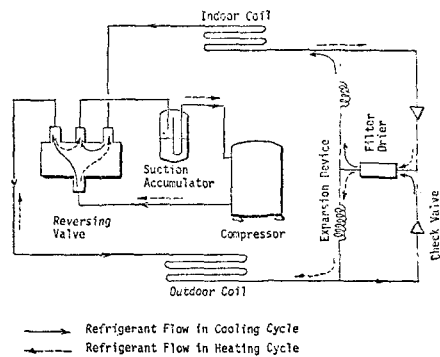


Fig. Flow Diagram-The Heat Pump System

150여년전 HP의 기본 원리가 Carnot에 의해 제시되고 100여년전에 Kelvin이 냉동을 난방용으로 제안한 후에도 HP가 공장생산으로 보급된 역사는 겨우 30년 정도이다. HP가 본격적으로 사용된 1952년후 지금까지의 성장발전과정을 i) 초기성장기(1952-1963), ii) 재조정기(1964-1971), 그리고 iii) 급성장기(1972-)의 세기간으로 구분 할 수가 있다.*

正會員, Copeland Cooperation, Senior Reliability Engineer U. S. A.

* J. A. Pietsch, The Unitary Heat Pump Industry - 25 Years of Progress, ASHRAE Journal, July 1977, V. 19 No. 7

초기 성장기 중에는 설치된 HP수도 적었지만 그것도 대개 온화한 지역에 한정되었고 제일 큰 문제는 무엇 보다도 reliability**상의 문제점들이었다. 추가된 부품(部品)으로 인한 문제, 특수한 운전으로 인한 압축기에 대한 stress에 대한 불충분한 지식과, 설계, 설비상의 미비점으로 실사용자의 HP에 대한 인식은 그야말로 큰 재난을 겪었음은 유명한 사실이었다.

1960년도 중반에 이르자 초기에 겪은 값비싼 경험과 계속된 연구의 결실로 미비점과 문제점을 해결 보완함으로써 공조 산업계는 보다 나은 제품을 공급할 단계에 이르렀으나 극도로 떨어진 평판과 계속 내리는 전기요금으로 실성장없이 그저 현상 유지 정도에 그치고 말았다.

그러나 1970년도 초반에 들면서 energy 가격 인상으로 HP가 가장 이치적인 해결방안으로 각광을 받게 되고 1960년도 중반 부터의 노력으로 결실된 reliability 개선과 함께 HP의 급성장을 가져 오게 되었다.

HP 시장의 동향

미국에서의 unitary HP (1.4~20톤)의 최근 동향을 간단히 살펴보자. 1976년에는 주택용으로는 전출하고 210만대의 14%인 29만대가, 상업용으로는 16만대의 10%인 1만 6천대가 HP였다.

1980년에는 주택용은 270만대의 28%인 75만대가, 상업용은 20만대의 35%인 7만대가 판매될 것으로 전망되고 있다.

이는 76년과 80년도 사이 4년간에 주택용은 2배 이상, 상업용은 4배 이상의 수요 증가에 상당하며 주택용은 미국이 전세계 수요의 70%에 해당하는 17억불을 80년에 소비할것으로 예기되고 있다.

** Reliability (engineering)는 신뢰성(공학)으로써 기계나 제품에 고장이 일어나는 이유를 과학적으로 해명하고 그 고장을 제거내지 방지하는 기술임. 신뢰성은 기계가 설계 조건하에서 고장없이 주어진 시간을 작동하여 수명을 계속 유지하는 확율을 말함

실용성과 경제성

난방계절중 비교적 높은 외기온도(높은 흡입압력)와 낮은 부하(낮은 토출 압력) 조건에서 많이 운전하게 되면 평균 COP가 높게되고 HP의 실용가치가 높아짐은 물론이다. 계절평균 COP는 주로 기후에 좌우되어 일률적인 수치는 예기하기가 어려우나 사용 energy의 약 2배 정도는 회수가 기대된다.

그러나 냉방과 난방 부하가 현저히 다르면 그만큼 경제성이 저하된다. 현재 설계 관례는 시설을 냉방부하에 맞도록 설계함으로써 난방 절정 부하를 충족하기 위해서는 보조 전열이 필요하게 되는 것이 보통이다.

전력회사(미국)의 입장으로는 여름과 겨울의 부하를 일치한다는 점에서나 외기온도와 HP의 COP간의 정비례 상관관계로 보나 HP는 온화한 기후에 더 적합하고, 추운기후에서는 전력회사의 부하관점에서나 실수용자의 입장에서나 낮은 COP 때문에 HP의 이점이 별로 없게된다.

HP의 경제성에 대한 연구는 지난 수년간 이론상으로 나와 실제상으로 많이 진행되었고 경제적 타당성은 이미 기정사실로 확립되었다고 볼수 있다.

Heat Pump의 문제점

HP의 문제점은 system, 설계, 응용상 그리고 reliability 등 대체로 네가지로 구분해서 검토해 볼수가 있다.

system상의 문제점 : 가장 보편적으로 사용되는 air-to-air HP의 두가지 문제점을 검토해 보자. 하나는 외기가 열원이므로 외기 온도가 내려가게 되면 난방부하가 오르는가 하면 system 용량뿐만 아니라 동시에 효율이 낮아짐으로 부하對 열공급 능력상에 차이가 크게 난다.

이런때에는 앞에서 말한바와 같이 보조저항 전열이나 열저장 탱크를 사용 할수가 있으나 이럴 경우 경제성 여부가 물론 문제가 된다.

또 하나는 외기온도의 강하에 따른 frosting관

구체적으로 몇가지 설계, 설비, 응용 및 압축기의 요건을 간단히 열거해 보기로 하자.

설계상의 요건으로서는 HP stress를 견디게 특별히 제조된 HP용 압축기를 사용하고 액체 냉매를 조정하여 위험을 적게 하겠끔 팽창변을 설계 선택하고 냉동유의 return을 확실하게 할수있는 suction accumulator의 설계가 중요하고, 필요한 pressure cutout를 구비해야 한다.

시설, 응용상의 요건으로서는 duct 치수와 소음 및 공기 draft에 대한 주의가 필요하고 바깥 coil의 배수나 적설(積雪)에 대한 주의가 요구된다. 압축기가 system에서 가장 중요함은 물론 피해 가능성도 가장 높은 부품임은 말할 나위가 없다. 압축기 전지로서 HP의 특이점은 운전범위가 넓은데다가 운전시간이 cooling만보다 2배 내지 4배 가량 긴데다가 운전조건이 유동적이 되어 위험부담이 큰데다가 저온 운전 특히 액체 냉매로 인한 윤활 보장이 필요하다. 또한 고온, 고 압축비 운전에 대비한 motor 및 토출 valve의 가열에 대한 내구성, 화학반응의 가속화에 대한 대비가 필요하다. 이상조건에 대한 내구성이나 저온에서의 시동성, 전압의 고저, 오염등에 대한고려 그리고 적절한 motor 보호 방책등도 중요한 요건이 된다.

최근 Heat Pump의 특이점

최근의 HP는 가볍고 작은 공간에 간결하게 만들어지고 있으며 control도 많은 진보가 되어 있으나 reliability 향상에 따르는 대부분의 기술적인 진보는 압축기에 있었다고 보는것이 타당하다 예를 들면 기본설계상의 경향이나 특이점으로는 열충격에 대처하여 ringed piston을 쓰고 열효율이 향상되었으며 crankcase heater의 보다 효율적인 사용과 함께 윤활방법에서는 oil pump의 개선, 포말(foaming) 현상이 적은 특수 냉동유의 사용, gasket의 보강, 그리고 bearing 면적의 일반적인 증가를 들수가 있다. 그 외에 냉매의 보다 효율적인 흐름을 motor 냉각의 개선, motor winding이나 절연체의 개선으로 고온에

서의 운전에 안전을 기하고 있음을 관찰 할수가 있다.

이러한 특이점들은 수년간에 걸친 실험실 연구뿐만 아니라 현장운전기록으로 그 우수성이 점차 확인되고 있다. 이런 기술상의 발전은 cooling용만의 압축기에도 많이 적용되어 압축기 개선에 큰 공헌을 하였다. HP의 냉매로서는 R-22가 보편화 되고 있으나 중온내지 저온에서 성공적으로 사용되고 있는 R-502의 HP에의 적용에 대한 연구가 계속되어 왔다. 1961년에 R-502가 냉동계에 소개된후 R-22의 저온외기용으로서의 부적합성(낮은 밀도와 비열)을 보완 할수 있다는 점으로 열역학적, 화학적 견지에서 그 타당성이 거론되고 있다. 1960년대 미국공군당국과 Dupont 회사의 공동 노력으로 100대의 HP 현장 시험에서 그 타당성을 인정 한다는 결론을 가져 왔다. 그러나 낮은 토출, 냉동유및 motor 온도, 같은 조건에서의 낮은 압축비, 저온에서의 대용량과 같은 이점이 있는 반면 가격상 R-22에 비해 불리한 조건에 처해있어 장래 그 추세가 주목된다.

Heat Pump의 장래

이상 열거한 문제점 등으로 보아 HP의 장래성을 회의적으로 볼 가능성이 없지 않으나 역사적 고찰과 미국에서의 현상을 검토 함으로써, 또 그간의 기술진보로 보아 밝은 장래가 기대된다. 이점은 현재 미국에서 계속 팽창하는 HP 수요증가 추세로 보아도 짐작이 가며 초기에는 결코 적용할수 없었던 악조건 하에서도 견딜수 있는 개선된 압축기와 그에 수반된 설계, 응용, 및 control의 발전이 실현된 것으로도 알수있다.

앞으로 계속 예기되는 energy 결핍, 효율개선 그리고 HP가 가장 효율적인 난방 system이 될수 있는 점 등은 모두 HP의 장래성에 대한 보완점으로 보인다. 그러나 이것도 끊임없는 기술개발과, 시장확대, 그리고 장기적인 기술혁신이 요구될것이지만 이에 대해서는 별로 그의 성취를 의심할 여지가 없다.

제로 용량이 더 떨어지는가 하면 defrost 할때의 파인 액체 냉매의 처리가 큰 문제가 된다. 그 외에 팽창변이나 풍량에 대한 문제도 항상 있게 마련이다.

실제상의 문제점 : 증발기와 응축기의 교체 필요성으로 야기되는 system 불균형문제, 팽창변 저항의 선택, 기계, 전기 및 contral 관계를 가장 이차적으로 설계, 선택 함으로써 system optimization을 얻는 문제등은 아직도 연구의 여지가 다분하다고 볼수있다.

응용상의 문제점 : HP는 아직도 보통 split system이므로 현장 설비에 따르는 system 오염 위험성, 그리고 오염이 고온 운전상에 내포하는 문제점이 있다. 냉매 충전이 부족 혹은 파인일 경우, 단전후 낮은 외기온도에서 시동할때 압축기의 시동능력등은 단순한 문제들이 아니다. 난방중에는 단지 전체 냉매의 일부분만이 바깥 coil에서 증발되고 나머지 파인 냉매는 옥내 coil에 축적되어 있다가 defrost할때 cycle이 바뀌면서 냉매가 압축기로 들어와 심한 foaming(포말현상)과 함께 심한 hydraulic slug와 윤활부족 현상을 일으킬수도 있고 심하면 냉동유를 일시적으로나마 완전히 압축기에서 몰아내는 위험성도 실제로 다분히 생긴다. 이러한 현상이 바로 HP에서의 defrost 위험성이 자주 거론되는 이유이다.

난방 cycle 중 바깥 coil 표면온도가 0°C이하면 외기의 습도 함유량과, 외기와 증발 온도간의 차이에 따라 coil 표면에 frost가 축적된다. 이렇게 되면 그 정도에 따라 열전달이 저해되고 흡입압력의 강하에 따라 용량및 COP가 저하된다. 이를 제거하기 위해 시간간격을 두거나 다른 control을 경합시켜 defrost를 하게 된다.

Defrost 작동 중에는 온도, 압력, 및 냉매 흐름의 특성이 급격히 변하므로 이로 인한 충격으로 특히 압축기에 주어지는 stress가 몹시 심할수가 있다.

Reliability상의 문제점 : 1950년대 초기성장기의 큰 실패요인이었던 reliability 문제는 전자, 우주항공학의 system reliability에 관한 고도의

지식과는 차원이 달라 공조산업계에서는 그때만 해도 reliability에 대한 기본 개념이 박약했을뿐 아니라 지금도 그점에 대해서는 다소 달라졌다고 하더라도 아직도 박약하다는 것을 엿볼수 있다.

elriabiability 문제는 두가지 각도에서 분석해 볼수 있다. 첫째로 심장부분인 압축기에 대한 액체냉매의 가해(加害) 위험도이다. 이위험성은 바로 수없는 압축기 고장(하자)을 초래했고 이것은 충분한 안전 방지책이 없이 그리고 냉매의 잠재 위험을 과소평가하여 사용한 결과로 해석된다. 액체냉매의 위험성에 대한 지식은 그후 널리 인식되었고 지금은 특수 압축기 설계 기준과 suction accumulator, crankcase heater 등을 필수 부품으로 조건화 하기에 이르렀다.

둘째는 냉방 system에 비해 HP에는 RV 및 cheak valve 등 부품이 많고 control이 복잡해짐으로 해서, 또 배관접속이 많아짐에 따른 냉매 누설의 증가등 문제점이 늘었음을 인식해야 한다 이런 복잡성은 바로 reliability의 기본 원리에 의해 system breakdown의 통계적 확율을 높이는데 기여하는 요건이므로 아무리 각 부품을 견고히 만들었더라도 reliability가 떨어지기 알맞다. 이러한 엄연한 통계적 사실을 아직도 미국 공조산업계에서 얼마나 그 인식이 잘되어 있는지는 의심의 여지가 있다. 이 엄연한 사실은 필자의 수년간에 걸친 실험실 및 현장 경험과 HP압축기 개발중 얻은 가장 중요한 교훈의 하나라고 할수있다. 실사용자의 입장로서는 압축기의 고장이거나 control에 문제가 있거나 간에 냉난방이 필요할때 되지않는다면 system breakdown에는 다름이 없다는 점을 심작히 인식할 필요가 있다.

효율적 system의 운전조건

system의 효율적인 운전은 설계, 제작, 설비 및 실사용자의 유기적인 4위 1체가 요건이지만 HP에서는 그 중요성이 특히 강조되어야 한다. 쉽고 정확한 응용및설비 지침등은 필수조건의 일부가 된다.

한국에서의 HP의 장래성은 다소 다른점이 있다고 보는것이 타당할것 같다. 건축양식과 central 공조기의 보급의 미흡으로 주택용의 보급은 수년이 걸릴것으로 보이고 작은 commercial 용은 그 응용이 먼저 실현될 요건이 갖추어져 있지 않나 본다. 한국에서의 보급이 단시일내에 어렵다는 견지하에 외국의 HP 발전이나 그 추세에

관심을 덜가진다면 그보다 더한 손실이 없다고 본다. 외국에서 치룬 값비싼 교훈과 압축기나 control에 대한 진보는 바로 이 시점에서라도 한국에 도입하여 응용하면 당장 나은 system 설계 제작, 설비에 그리고 sysem 그 자체를 이해 하는데 더 없는 효과를 얻을수가 있다는 점을 특히 강조하고 싶다.