

열펌프의 사용과 에너지의 합리적 이용

Heat Pumps and Rational Utilization of Energy

김 민 수

M. S. Kim

서울대학교 공과대학

기계공학과



· 1962년생

· 혼합냉매를 이용한 열펌프 시스템의 성능 및 열전달과 냉매의 열역학적 물성에 관심이 있다.

1. 서 론

열펌프는 저온열원으로부터 열을 흡수하여 고온열원으로 열을 방출시키는 장치로서 공급되는 에너지를 열에너지의 형태로 변환시키는데 유용하게 이용된다. 열역학적으로는 열의 흡수 및 방출이 동시에 일어나며, 열의 방출에 목적을 둔 열펌프와 열의 흡수에 목적을 둔 냉동기는 동일한 사이클로 구성되는데 작동온도범위만 다를 뿐이다. 실용적으로는 난방이 필요할 때 열펌프 시스템을 이용하여 열을 공급하고, 동일한 시스템으로 냉방이 필요할 때 열을 제거하는 냉난방 겸용기기로 많이 사용된다.

에너지의 합리적인 이용은 에너지 사용기관의 효율을 높이고 비가역적인 손실을 줄임으로써, 에너지 자원의 소비를 감소시키는 것을 비롯하여, 천연에너지의 이용 및 미활용 유효에너지의 회수, 재활용 등 넓은 범위의 에너지 이용을 포함하는 개념이다. 에너지의 절약이라함은 일반적으로 전기, 연료와 같은 에너지의 사용을 줄이는 것을 의미하며, 활용되지 못하고 손실되는 에너지를 감

소시키는 것을 포함한다. 에너지는 보존이 되는 양이므로 전기, 열 등으로 형태만 달리 할 뿐 생성되거나 소멸되지 않는다. 따라서 필요한 양의 에너지를 얻기 위하여, 전기에너지와 같은 에너지원의 사용을 줄이고, 대신 다른 형태의 에너지를 이용하는 것도 넓은 의미의 에너지 절약이라 할 수 있다.

난방을 위해 전기히터를 사용하여 전기에너지를 직접 열에너지로 변환시키는 대신, 동일한 양의 전기에너지를 이용하여 열펌프를 구동시키면, 이 때 방출되는 열에너지의 양은 공급된 전기에너지에 비해 수배 증가하므로 에너지 이용 효율이 향상된다고 할 수 있다. 더욱이 열에너지를 이용하여 구동하는 열펌프를 사용할 때에는 전기에너지를 이용하지 않고도 공급되는 열에너지보다 많은 양의 열에너지를 얻을 수 있다. 앞서 열펌프 사이클을 냉방용으로도 사용할 수 있다고 언급하였는데, 하절기 냉방용 전력의 수요가 집중되어 공급능력에 압박하는 우리나라의 여건에서는 이러한 전력 수요의 집중을 막는 것이 필수적이며, 이를 위해 전기 대신 열에너지를 이용하여 구동되는 열펌프

/냉동기의 이용은 매우 중요하다고 하겠다. 에너지원의 대의의존도가 매우 높은 상태이고, 현재에도 계속해서 그 의존도가 높아지고 있는 우리의 입장에서는 에너지의 절약 및 이를 위한 열펌프의 사용은 매우 중요한 일이다. 본고에서는 열펌프 시스템의 기본원리와 특징을 간단히 설명하고, 열펌프의 응용 시스템에 관해 고찰하며, 이를 통한 에너지의 합리적인 이용에 관해 기술하고자 한다.

2. 열펌프 시스템의 기본원리 및 특징

기본적인 열펌프 시스템은 외기, 저온수, 우물물 등의 저온열원으로부터 열을 흡수하여 따뜻한 실내공기, 온수 등의 고온열원을 만들어 열이 필요한 곳에서 열을 방출하는 장치로서, 이와 같이 저온부에서 고온부로 열을 이동시키기 위해서는 구동에너지가 필요하다. 열원측(열펌프에서 열을 받는 부분)과 열펌프에서 열을 방출하는 부분의 열교환매체에 따라서 공기 대 공기, 공기 대 물, 물 대 공기 및 물 대 물 방식으로 구분하는 것이 보통이다. 또한 유럽 및 북미 등지에 많이 보급되어 있는 지열이용 열펌프 시스템에서는 지열이 중요한 열원으로 이용되고 있으므로, 지열 대 물 또는 지열 대 공기의 방식도 생각할 수 있다. 구동에너지로 가장 많이 사용되고 있는 것은 전기에너지로서 열펌프 시스템의 작동유체인 냉매를 압축하기 위한 압축기의 구동에 사용된다. 전기에너지 이외에도 열에너지를 이용한 구동을 들 수 있는데 증기, 고온수, 연소가스 등을 이용하는 흡수식 열펌프가 대표적인 예이다. 연료를 직접 연소시키는 엔진을 이용하여 동력을 얻고, 이를 냉매의 압축을 위한 압축기의 구동에 이용하는 방식도 있는데, 가스를 연소시키는 엔진을 이용하여 열펌프를 작동시키는 시스템이 많이 보급되어 있다. 열원으로 구동되는 엔진을 이용하는 스테링 엔진 구동 열펌프 및 VM(Vuilleumier) 사

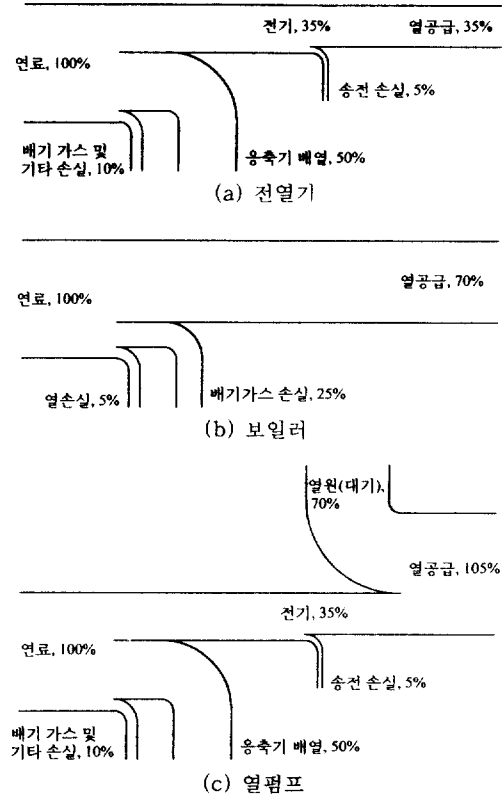


그림 1 전열기, 보일러, 열펌프에서의 에너지 흐름도

이 열펌프도 널리 연구되어, 실용화가 시작되고 있다.

위에 기술한 열펌프 시스템의 가장 큰 특징은 구동에 필요한 에너지보다 더 많은 양의 에너지를 열에너지의 형태로 공급할 수 있다는 것이며, 이러한 점이 열펌프를 사용할 때, 에너지를 합리적으로 이용하게 만드는 점이다. 이 때 열펌프의 구동에 필요한 입력에너지에 대하여, 열펌프가 공급한 출력 열에너지의 크기의 비를 성능계수(COP, Coefficient of Performance)라고 부르며, 대부분의 경우 1보다 큰 값을 갖는다.

난방기구로서의 전열기, 보일러 및 열펌프에서의 에너지 흐름을 그림 1에 나타내었다. 비교를 위하여, 1차 에너지를 기준으로

로 표시하였는데 전기에너지의 경우 전기의 생산에 필요한 1차 에너지를 100으로 표시할 때, 생산되는 전기에너지는 약 35 정도이므로, 전열기를 이용하여 난방을 한다고 할 때, 전열기의 효율이 100%라 하더라도 35의 열밖에 얻을 수 없다. 1차 에너지인 액체 또는 기체 연료를 직접 연소시켜 난방을 하는 보일러의 경우에도 배기가스 손실, 기타 열손실 등을 고려할 때, 공급될 수 있는 열에너지는 약 70 정도로 생각할 수 있다. 전기에너지를 이용하는 증기압축식 열펌프의 경우에는 공급되는 전기에너지를 35라고 할 때, 대기로부터 70의 열을 흡수하여, 총 105의 열에너지를 공급할 수 있다. 1차 에너지를 기준으로 생각해 볼 때에도 다른 난방기구에 비교하여 훨씬 많은 양의 열에너지가 공급된다.

전기에너지로 구동되는 증기압축식 열펌프의 기본적인 사이클은 그림 2에 도시한 바와 같이 압축기, 응축기, 팽창장치 및 증발기로 구성된다. 저온, 저압의 기상 냉매를 압축하여 대기(또는 실내 공기)의 온도보다 높은 온도의 고압 기체로 만들면, 대기(또는 실내 공기)로 열을 방출할 수 있으며, 이 때 방열되는 열에너지를 이용하는 것이 열펌프의 기본 개념이다. 이와 같은 열의 방출은 응축기에서 일어나며, 동시에 작동유체인 냉매는 냉각되어 고압상태의 액체가 된다. 이를 팽창밸브 또는 모세관 등의 팽창장치를 이용하여 압력을 떨어뜨리면, 냉매의 온

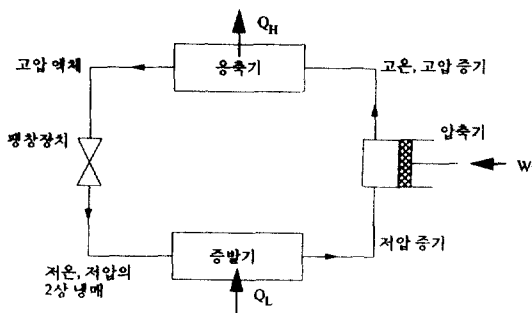


그림 2 기본적인 증기압축식 열펌프 사이클

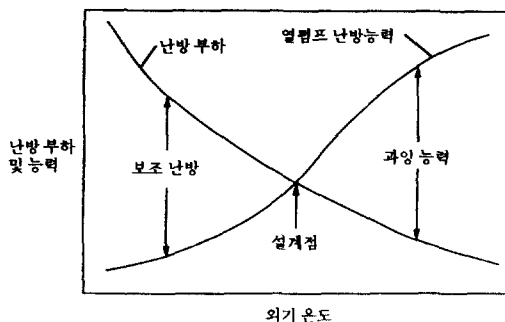


그림 3 외기온도 변화에 따른 열펌프의 난방 능력 및 난방부하

도는 급격히 하강하게 되고, 이 때 저온, 저압인 포화상태의 냉매가 된다. 저온 상태의 냉매는 외부로부터 열을 흡수할 수 있으므로 증발기를 이용하여 대기(또는 열원)로부터 열을 흡수하면 저온, 저압의 기체가 되며, 이를 다시 압축기로 보내면 결과적으로 증발기에서 흡수한 열을 응축기에서 방열하는 열펌프 사이클을 이루게 된다.

이러한 열펌프 사이클을 난방용으로 사용할 때 외기온도 조건의 변화에 따른 열펌프의 열에너지 공급 능력인 난방용량 변화와 실내에 요구되는 난방부하의 변화를 그림 3에 나타내었다. 난방용량과 난방부하는 외기온도의 변화에 따라 서로 상반된 경향을 보여준다. 즉, 외기온도가 올라가면 난방부하는 감소하지만 난방용량이 증가하게 되므로 열펌프가 필요이상의 난방용량을 지니며, 반대로 외기 온도가 떨어지면, 난방부하는 증가하나 열펌프의 난방용량은 감소하므로 난방용량이 난방부하보다 적은 경우가 생긴다. 따라서 외기온도가 감소할 때에도 난방 부하를 맞추려면, 필요 이상의 큰 용량으로 열펌프를 설계하거나 부가적인 난방장치가 필요하게 된다. 다른 방법으로서 외기 온도가 감소하여 외기와 증발기내 냉매와의 평균 온도차가 감소하고, 따라서 열을 흡수하는 증발기의 성능이 감소할 때 폐열 등을 이용하여 증발기의 온도를 상승시켜 주는

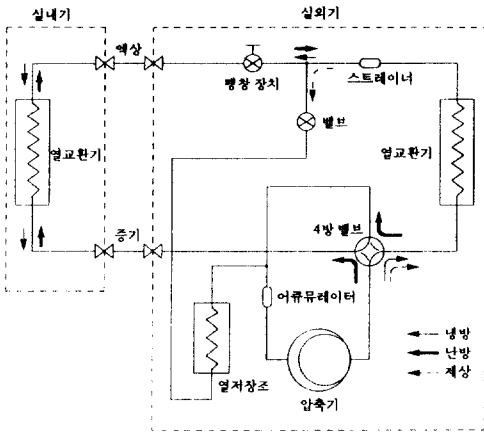


그림 4 축열이용 냉난방 열펌프

방법도 생각할 수 있다.

앞서 언급한 바와 같이 열펌프와 냉동기는 동일한 사이클이므로 난방 및 냉방용으로 작동시킬 수 있으며, 이는 그림 4에 나타난 바와 같이 압축한 기상 냉매를 실내로 먼저 보낼 때에는 열펌프로, 실외로 먼저 보낼 때에는 냉동기(에어콘)로 작동시킬 수 있다. 이 때 사용되는 것이 4방 밸브(4-way valve)이며, 전기적인 신호에 의해 밸브를 조작한다. 동절기에 열펌프로 작동시킬 때에는 실외에 위치한 증발기(열흡수부)의 온도가 차가운 외기의 온도보다 더욱 낮아야 외부에서 열을 흡수하여 실내로 공급할 수 있으며, 실내에 위치한 응축기(열방출부)의 온도가 실내공기의 온도보다 높아야 한다. 하절기에 냉동기(에어콘)로 작동시킬 때에는 실외에 위치한 응축기의 온도가 실외의 따뜻한 공기의 온도보다 더욱 높아야 외부로 열을 방출할 수 있으며, 이 때 실내에 위치한 증발기의 표면 온도는 실내 공기의 온도보다 낮아야 한다. 이와 같은 실내기, 실외기는 한 번 설치를 하면, 그 위치를 바꿀 수 없으므로, 4방 밸브를 이용하여 냉매의 유로를 바꾸게 된다. 이처럼 실내기 및 실외기의 크기가 설치시에 결정되므로, 동절기의 난방부하 및 하절기의 냉방부하를 동시

에 맞추는 것이 어려우며, 난방용의 보조 기기가 있다면, 냉방부하를 맞추어 설계하는 것이 바람직하다.

우리나라의 겨울과 같이 기온이 영하로 내려가는 기후에서 열펌프 시스템을 작동시킬 때 나타나는 문제점 중의 하나는 실외에 위치한 증발기의 코일 표면에서 공기 중의 수분이 서리로 되는 것이다. 증발기는 외기에서 열을 흡수하는 열교환기이므로 외기와 유한한 온도차가 필요하며 증발기의 온도는 외기의 온도보다 낮아야 한다. 기온이 영하로 내려가지 않더라도 증발기 내의 냉매와 실외 공기와의 평균온도차는 약 5℃에서 10℃ 가량되므로 증발기 표면의 온도가 영하로 내려가기도 한다. 실외의 증발기 코일에 서리가 생기게 되면, 서리의 낮은 열전도율로 인하여 열전달이 감소하고, 전열효율이 떨어지며, 증발기에서의 냉매온도는 더욱더 낮아지게 되어 서리의 생성을 촉진시킨다. 또한 서리의 발생과 더불어 공기 측의 유로가 좁아져 공기의 유량이 감소하게 되며, 생성된 서리를 제거하지 않을 경우 열교환기 자체의 파손이 발생할 수도 있다. 따라서 서리를 간헐적으로 제거하는 것이 필요한데 이를 위해서는 냉난방 겸용 열펌프의 난방운전 모드를 냉방운전 모드로 잠시 바꾸어 압축기 출구의 고온 냉매를 실외기 쪽으로 보내어 서리를 없애는 방법을 사용하고 있다. 온도를 측정하여 서리의 생성정도를 감지하는 온도계와 시간을 측정하는 타이머를 이용하여 서리를 없애는 과정을 제어하는 것이 보통이다. 상대습도가 매우 낮은 경우에는 실외기의 온도가 영하로 내려가도 서리가 잘 생기지 않으므로, 열교환기의 온도와 외기온도를 비교하여 서리제거운전을 하기도 한다. 이와 같은 서리제거운전에는 난방능력이 0이 되므로 실내공기의 순환을 위한 팬을 정지시키든지 보조열원을 이용하여 난방을 하는 것이 필요하다.

3. 열펌프의 운용 및 에너지 절약 기술 응용에

여기서는 몇가지 형태의 열펌프에 관해 나열하고, 이의 운용과 에너지 절약을 위한 방법에 관해 취급하며, 최근의 기술동향에 관해 언급한다.

3.1 냉난방 겸용 열펌프

생활 수준의 향상 및 소득의 증대, 그리고 작년 여름과 같은 이상 기후 등에 힘입어 냉방전용 룸에어콘 및 냉난방 겸용 열펌프의 수요가 매우 증가하고 있다. 국내시장의 경우에는 냉방전용 룸에어콘이 주된 상품이며 최근 그 수요가 계속적으로 증가하고 있으나, 냉난방 겸용 열펌프의 경우에는 연간 수천 대의 수준에 머무르고 있다. 따라서 냉난방 겸용 열펌프에 대하여 자체의 기술개발을 통한 상품의 생산은 채산성이 낮아 기술 도입을 주로 하고 있다. 그러나 기후의 차이를 염두에 두더라도 일본의 경우에는 냉난방 겸용 열펌프의 생산이 연간 500만대를 넘어서고 있으며, 그 가운데에서도 인버터가 부착된 냉난방 겸용 열펌프의 성장이 매우 빨라서 지금은 에어컨의 대명사가 되고 있다. 인버터는 전기구동 압축기에 공급되는 전원의 주파수를 변화시켜 압축기의 회전수가 변화하도록 하는 기기로서, 작동유체인 냉매의 유량을 조절하여 냉난방 부하가 변화할 때, 이에 맞는 냉난방능력을 낼 수 있도록 만든다. 이처럼 앞으로는 여름에만 사용되는 계절 상품으로서의 냉방전용기기의 개념에서 벗어나 냉난방 겸용의 연간 상품으로 자리잡으리라는 것을 알 수 있다. 냉방전용 룸에어콘에서 사용되는 열교환기, 압축기 등이 냉난방 겸용의 열펌프에도 모두 사용되므로, 추가적인 보조장치 및 제어기 등을 개발하면 그 보급이 확대되리라 보며, 이는 기기의 사용 빈도 및 이용효율을 높임과 동시에 에너지 절약에도 일조하리라 본다.

최근 기술 개발의 주요 대상은 압축기로서 저소음, 저진동 압축기의 개발에 주력하고 있다. 열펌프 및 에어컨의 가장 중요한 구성요소인 압축기는 왕복동식에서 로타리식으로 바뀐지 오래이며, 최근에는 냉난방능력을 변화시킬 수 있는 인버터를 장착함에 따라 저속회전에서도 유효성이 원활하게 될 수 있는 압축기가 개발되어 사용되고 있다. 계속적으로 요구되는 저소음화, 에너지 절약 등의 요구를 바탕으로 새로이 스크롤 압축기가 개발되고 이를 이용하는 에어컨이 생산되어 저소음, 저진동화를 추구하고 있다. 이러한 스크롤 압축기는 압축행정이 극히 부드러워서 토오크 변동이 미소하기 때문에 저소음, 저진동화를 이룰 수 있으며, 압축실 간의 차압이 작아서 누설이 적어, 압축기의 효율이 올라가는 특징을 지닌다.

에너지 절약을 위한 방법으로서의 축열이용기술을 들 수 있다. 냉난방 겸용 열펌프의 난방 운전시에 생기는 서리를 제거하기 위한 방식으로서 4방 밸브를 이용하여 냉매의 유로를 바꾸어 주는 역사이클 방식을 채택하고 있다는 것은 이미 언급한 바와 같다. 이 때에 열펌프의 난방능력은 0이 되므로 난방을 계속하면서도 서리를 제거하는 방식을 개발하게 되었다. 제상시간을 더욱 단축하고 이 때의 난방능력을 향상시키기 위해서 그림 4에 나타난 바와 같이 잠열축열기술을 이용한 방식을 개발하여 실용화하고 있다. 난방 운전시에 압축기에서 방출되는 열량을 압축기의 주위에 설치한 잠열축열조에 저장하였다가 제상운전에 들어가면 이 축열조로부터 단시간에 열을 꺼내어 서리를 제거하기 위한 열원의 일부로 하는 것이다. 이에 따라 제상 시간이 대폭적으로 단축되며, 결과적으로 훨씬 높은 난방능력이 얻어질 뿐만 아니라, 효율도 향상된다. 또한 열펌프의 기동시에도 이 기술을 적용하여 미리 축열한 에너지를 사용함으로써 예열시의 난방응답특성을 대폭적으로 개선할 수 있다.

에너지 절약 및 제품의 소형화에 기여하는 열교환기의 고성능화에 대하여 압력손실을 증대시키지 않고 공기측이나 냉매측 열 전달율을 향상시키기 위한 노력이 계속되고 있다. 종래의 것들에 비해서 핀 형상이나 관 내에 선회홈을 만드는 등 형상의 개선이 있었으며, 최근에는 냉매관의 직경을 작게 하여 핀의 효율을 높이고 냉매관에 응결되는 물의 부착 면적을 감소시키고 있다.

열펌프의 작동을 시작한 직후의 예열에서의 분출되는 바람을 고온화하기 위해서 냉매압력을 높이지 않으면 안된다. 이 때문에 축이나 베어링을 개량한 고내압 콤프레서가 개발, 실용화되고 있다. 또한 분출 풍향이나 풍량을 조정하는 기류제어에 있어서도 방 전체의 온도분포를 균일하게 하거나 사람이 있는 장소만을 부분적으로 바람을 나누어 보내는 등 다양한 방식의 송풍이 가능하도록 개발하고 있다.

기존에 사용되는 한가지 성분의 냉매를 이용하는 대신에 냉매를 혼합하여 사용함으로써 열펌프의 성능향상 및 용량조절을 도모하고자 하는 노력도 계속되고 있다. 혼합냉매는 증발, 응축이 일어나면서 온도가 변하므로 2차 유체와의 유한 온도차를 줄여 성능을 향상시킬 수 있으며, 성분비를 바꾸어 열펌프에서 공급할 수 있는 난방용량을 변화시킬 수 있다. 즉, 혼합냉매의 증발시에는 저온증발냉매가 먼저 증발을 시작하여 증기상에서는 저온증발냉매의 성분비가 증가하고 액상에서는 고온증발냉매의 성분비가 증가한다. 이러한 성질을 이용하여 사이클 내부에서 작동하는 냉매의 성분비를 변화시켜 열펌프의 용량을 조절할 수 있고, 부하에 맞는 능력을 내도록 할 수 있다. 이는 압축기의 회전수를 변화시키지 않고서도 냉난방부하를 조절할 수 있다는 것을 의미한다.

3.2 열펌프 칠링 유닛 및 고온수기

열펌프 칠링 유닛은 연중 냉수와 온수를

동시에 공급하는 기기로서, 난방부하와 냉방부하가 동시에 존재하는 공기조화용으로 사용되며, 시스템의 성능계수는 매우 높다. 이는 에너지 절약효과가 매우 크다는 것을 의미하는데, 이러한 제품의 보급이 최근들어 증가한 원인은 컴퓨터, 프린터, 복사기

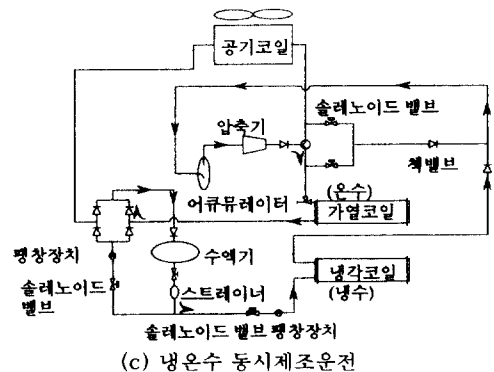
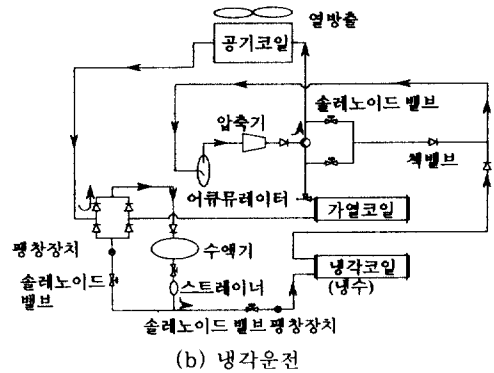
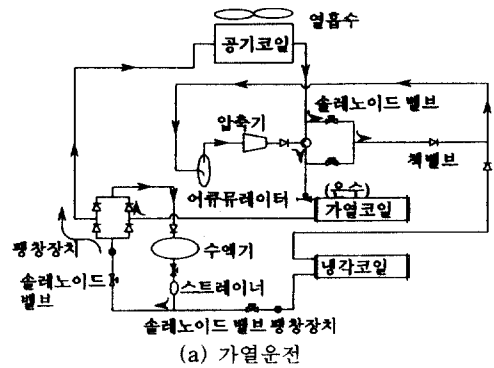


그림 5 열펌프 칠링 유닛의 가열, 냉각 및 냉온수 동시제조 운전

등의 사무자동화 기기의 보급이 증가하고, 건물의 단열이 과거에 비해 향상됨에 따라 겨울에도 냉방이 필요하기 때문이다.

그림 5에는 열펌프 칠링 유닛의 가열 운전, 냉각 운전 및 냉온수 동시 제조 운전 상태를 보여주고 있다. 가열 운전 모드에서는 공기와 열교환하는 것이 증발기로서 공기로부터 열을 흡수하고, 응축기에서 방출되는 열을 물로 전달함으로써 온수를 제조한다. 냉각 운전 모드에서 공기열교환기를 이용하여 응축기에서 열을 방출시키고 증발기에서는 열교환을 통해 냉수를 제조한다. 냉온수 동시 제조 운전 상태에서는 공기 코일을 이용하는 대신 온수코일은 응축기로, 냉수코일은 증발기로 각각 가열, 냉각하여 온수 및 냉수를 동시에 제조한다.

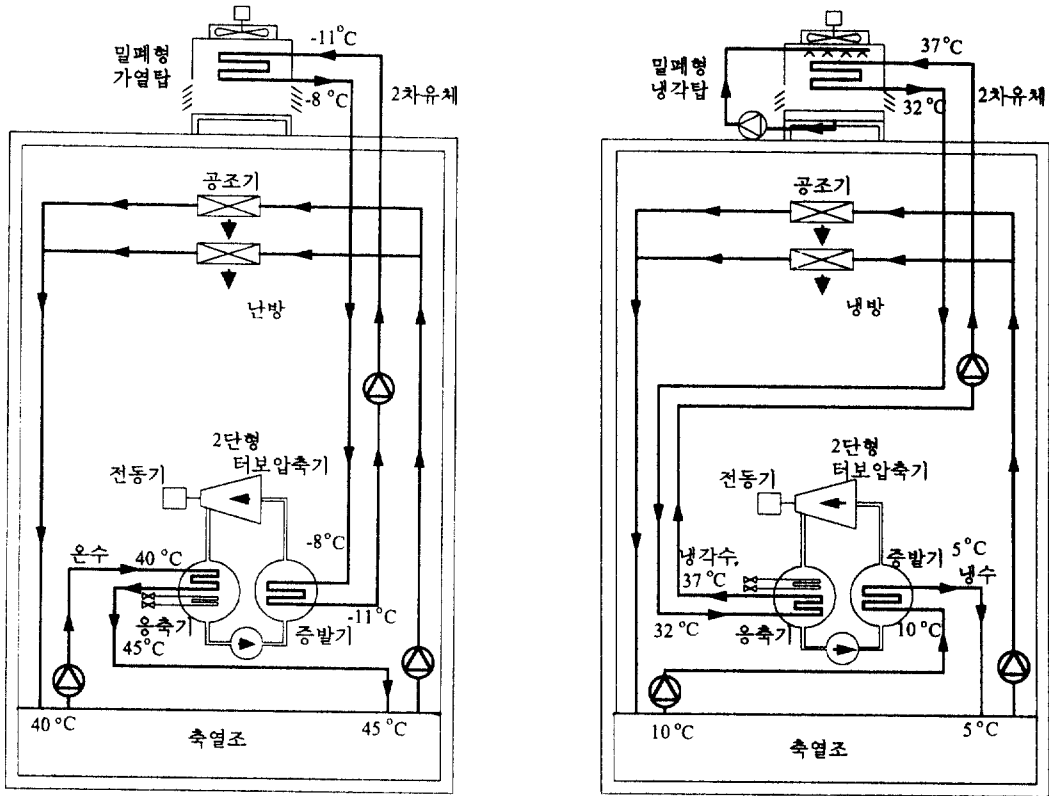
열펌프를 이용한 고온수기의 수요 및 보급은 최근 몇년간 매우 증가하였다. 이것은 열펌프의 특징인 에너지 절약과 함께 안전성, 취급의 용이성 등의 장점이 있기 때문이다. 고온수를 필요로 하는 급탕의 분야에 있어서도 종래의 가스, 석유, 전기히터 등의 열원에 의한 방식에 대신하여 열펌프를 이용한 응용제품이 실용화되었고, 이의 보급이 급속하게 전개되고 있다. 특히 급탕에너지 다소비형의 분야, 즉 공동주택, 호텔, 병원, 레저 시설 등에서 종래의 보일러를 이용하여 고온수를 만드는 개념에서 벗어나 열펌프를 이용한 냉난방 및 온수공급 시스템을 채택하고 있다. 이러한 시스템은 공기조화나 급탕 배열 등으로부터 얻을 수 있는 비교적 온도가 낮은 온폐열을 회수하여 고온수를 만들기 위한 열원으로 재이용함으로써 열이용 효율을 올리는 것을 목표로 하고 있다.

열펌프 기술을 이용하여 고온수를 만들고, 급탕을 하고자 한다면 몇가지의 기술적인 과제가 있다. 열펌프 고온수기는 일반적인 연소를 이용하는 경우에 비해 온수온도가 낮으므로 온수의 온도를 충분히 올리는 것이 필요하다. 또한 공기 열원 열펌프 고온

수기에서는 겨울철의 외기온도 저하에 따라 증가하는 급탕 부하에 대해 이미 언급한 바와 같이 열펌프의 가열 능력이 점차 줄어 기기의 능력은 떨어지므로 이러한 문제들을 해결하여야 한다.

3.3 터보 열펌프

터보 열펌프는 연속 운전에 적합한 대용량의 기기로서 터보 압축기를 그 기초로 하여 대부분 30kW 이상의 능력 범위에서 사용되고 있다. 최근에는 해수, 하천수, 하수 등의 미이용 에너지를 열원으로 하는 터보 열펌프가 보급되고 있으며, 공기열원 터보 열펌프의 개발이 진행되고 있다. 대형 빌딩의 공기조화나 지역 냉난방에 채용되고 있으며, 지역 냉난방의 규모가 커짐에 따라 터보 열펌프의 대용량화가 추진되고 있다. 동시에 고효율화, 고온화, 공간절약, 유지비절약 등을 위한 개발이 진행되고 있다. 그림 6에 나타낸 것은 2단형 터보열펌프를 이용한 건물의 동계난방운전과 하계냉방운전을 나타내고 있다. 이는 중대용량의 공기열원 열펌프로서 하계냉방운전시에는 밀폐형 냉각탑에서 공기와 2차 유체가 간접적으로 열교환을 하여 외부로 열을 방출하며, 동계난방운전시에는 하절기의 냉각탑을 가열탑으로 활용하여, 터보 열펌프의 증발기에 열을 공급하면서, 응축기에서 더 많은 양의 열을 방출하게 한다. 이러한 열펌프 시스템의 특징은 고효율 압축기를 사용하고, 회전속도 제어를 통해 높은 성적계수를 얻을 수 있다는 것이며, 작동온도 범위에서 포화압력이 낮은 냉매를 사용한다. 또한 2차 열교환유체로서 브라인을 사용함으로써, 냉매배관 방식에 비해 비교적 먼 거리까지 열을 수송할 수 있으며, 고도의 제한을 크게 받지 않는다. 또한 밀폐형 냉각탑을 사용함으로써 브라인이 외기와 직접 접촉하지 않고, 따라서 브라인의 농도가 변화되지 않으며, 오염이 되지 않는 것도 특징의 하나이다.



(a) 동계난방운전

(b) 하계냉방운전

그림 6 터보 열펌프를 이용한 난방 및 냉방운전

3.4 흡수식 열펌프

흡수식 열펌프가 압축식 열펌프와 다른 점은 통상의 증발기와 응축기 외에 흡수기와 발생기로 불리는 두 개의 열교환기가 더 있어 흡수용액이 냉매를 흡수하거나, 흡수용액으로부터 냉매를 발생시키는데 이용된다는 점이다. 압축식 열펌프가 전기를 사용하는 방식임에 비추어 볼 때, 흡수식은 고온 열원으로 구동되는 열펌프이며, 이 때문에 구동원으로서 고온의 증기 또는 가스, 기름 등의 연료를 연소시킬 때 발생하는 열을 직접 이용하며, 압축기는 사용되지 않는다. 이러한 흡수식 열펌프에서 제조되는 온수의 온도는 고온열원인 발생기 온도와 저온열원인 증발기 온도 사이의 온도가 되며, 이용하

는 열의 양은 발생기에서 공급한 열량과 증발기에서 흡수한 열량의 합으로 표시되므로, 에너지의 이용측면에서 상당한 이점이 있다. 흡수식 열펌프의 성능을 표시하는 성능계수는 발생기에서 공급된 구동열원의 가열량에 대하여 온수가 얻은 열량의 비로 표시되는데 1중효용 시스템의 경우 약 1.6에서 1.8, 2중 효용의 경우 약 2.0 정도가 되므로 에너지 절약 효과가 크다. 흡수식을 이용한 냉방기의 경우에도 발생기에서 공급된 구동열에 대하여 증발기에서 흡수한 열량의 비가 통상 1.0이며, 최고 1.2까지 되고 있다. 특히, 전력의 수요가 집중되는 시기에는 전력의 최고부하를 줄일 수 있으므로 그 사용이 권장되고 있다. 작동유체로 LiBr/H₂O

를 사용하는 경우에는 증발기의 온도가 올라가면 성능계수가 좋아지므로, 가스를 직접 연소시켜 고온발생기의 구동열원으로 공급하고, 고온발생기에서 발생한 냉매증기가 저온발생기에 공급되어 용액의 농축에 사용

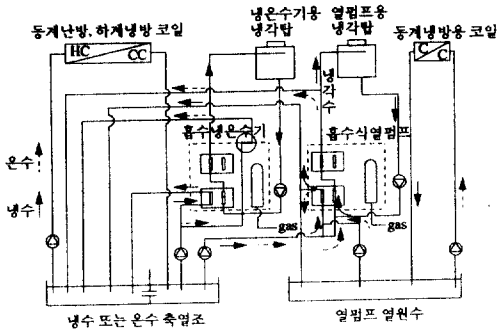
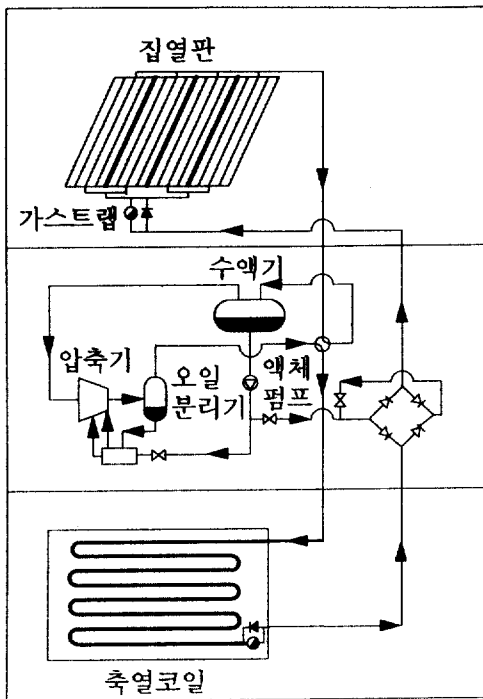


그림 7 흡수식 열펌프를 이용한 냉난방 시스템

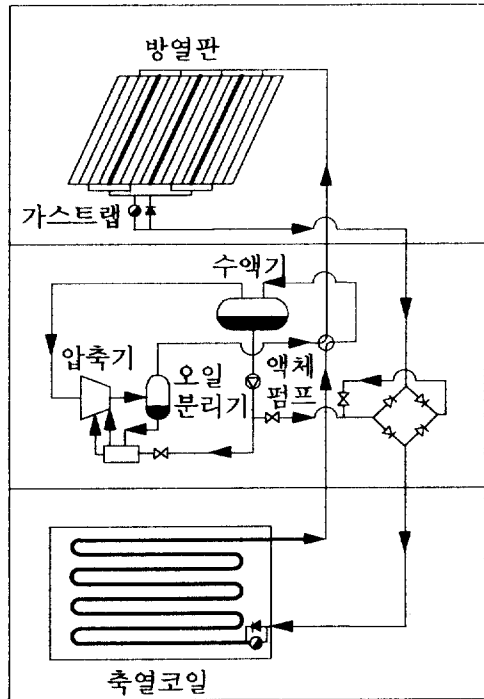
하는 이중효용 방식을 택하고 있다. 작동유체로 H₂O/NH₃를 사용하는 경우에는 흡수기에서 빼어낸 열의 일부를 발생기에 공급할 수 있으므로 이러한 열교환을 할 경우 성능계수가 상승하며 이에 대한 실용화 연구가 진행 중이다. 또한 H₂O/NH₃를 사용하는 소형 공냉형 흡수식 열펌프의 개발이 진행되고 있다. 흡수식 열펌프는 이용측면에 있어서 열수요와 저온열원으로서의 배열회수가 동시에 존재하는 경우에 이점이 많게 된다. 그림 7에는 사무실 빌딩용 냉난방 시스템에 흡수식 열펌프를 사용한 예를 보여주고 있다.

3.5 태양열 이용 열펌프

태양열을 집열하고 그것을 열원으로 하여 열펌프의 성적계수를 높이는 것이 태양열



(a) 난방 사이클



(b) 냉방 사이클

그림 8 태양열을 이용한 열펌프 시스템

이용 열펌프의 기본 개념이다. 태양열은 공간에만 집열할 수 있으므로, 이를 저장하기 위한 축열조가 필수적이며, 태양열 집열기를 야간 방열기로서 운전함으로써 냉방도 가능하다.

이 시스템은 옥외 집열판, 압축기, 축열조로 구성되며 전체가 냉매배관으로 연결되어 있다. 용량면에서는 현재 5kW 용량의 소형 주택용에서부터 300kW 이상의 건물용까지 있지만 건물의 크기에 맞추어 집열판수, 축열코일 수, 압축기 등을 선정할 수 있기 때문에 용량은 비교적 자유롭게 택할 수 있다. 처음 연구가 시작된 이후, 태양열 이용, 자연 에너지 이용 등 새로운 방식이 개발되었으나, 현재 설비비가 비싸고 상대적으로 저렴한 유가 등의 원인 때문에 많이 보급되지는 않았으며, 비용 절감이 중요한 과제로 되어 있다.

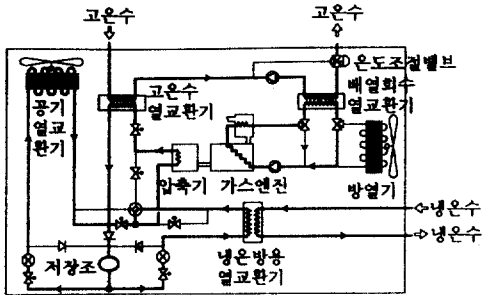
그림 8에는 태양열 이용 냉난방 열펌프 사이클을 나타내었다. 난방 사이클로 작동할 때에는 옥외 판넬이 냉매 증발기로 작용을 하여 태양열이나 공기로부터 열을 흡수한다. 기화된 냉매는 압축기에서 압축되어 압력과 온도가 올라가고 축열조 내의 코일에서 응축되면서 열을 방출하며, 이 때 온수를 만들 수 있는데 이 온수를 공기조화기로 순환시켜 난방을 한다. 냉방 사이클에서는 축열 코일이 냉매 증발기로 되어 축열조 내를 냉각시켜서 냉수 또는 얼음을 만든다. 냉매가스는 압축되어서 고온의 과열상태가 되고 옥외 판넬에서 응축되면서 방열한다. 방열은 주로 야간에 대기로 자연 대류에 의해 열을 버리는 것 이외에, 판넬 표면에서 복사 에 의한 냉각을 이용한다.

3.6 가스 엔진 구동 열펌프

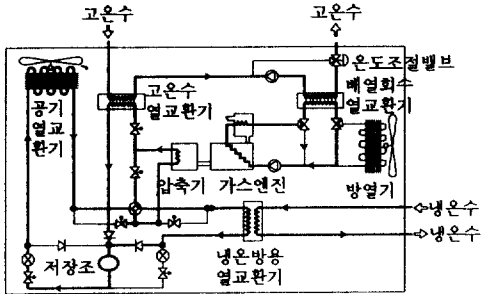
가스 엔진 구동 열펌프는 도시가스 또는 프로판 가스 등을 연료로 이용하여 가스 엔진을 구동하고, 이 때 발생하는 축동력으로 압축기를 구동하는 열펌프이다. 엔진을 사용하고 있기 때문에 엔진의 배열을 이용할 수 있어서 열 이용율이 높으며, 엔진의 회전

수 제어가 용이하므로 부분부하시에도 고효율이다. 또한 부하가 변하여도 쉽게 용량을 변화시켜 부하를 맞출 수 있으며, 외기온도가 낮은 경우에도 엔진에서 나오는 배열을 유효하게 이용하여 강력한 난방능력을 낼 수 있다. 이러한 가스 엔진 구동 열펌프는 에너지 절약형이며, 소요되는 전력이 매우 작고, 난방능력이 좋을 뿐만 아니라, 난방운전시에 외기온도가 저하하여도 난방능력의 저하를 막을 수 있고 제상운전이 불필요한 것이 특징이다. 여름철에 수요가 줄어든 가스를 이용함으로써 가스연료의 이용율을 높이고, 동시에 냉방시 전력의 수요집중을 억제함으로써 국가적인 에너지 이용 불균형 문제를 해결할 수 있는 장점을 지닌다. 그러나 이러한 열펌프는 엔진을 사용하기 때문에 발생하는 문제점을 해결해야 되는데, 예를 들면, 엔진의 소음, 진동, 유해 배기가스, 정기 점검 및 정비 등의 문제이다.

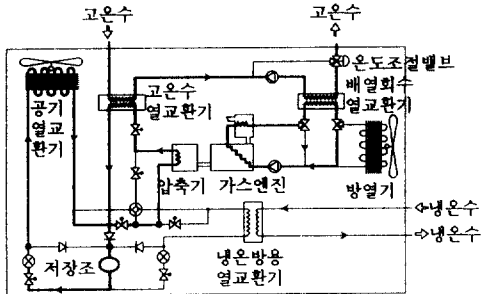
냉난방 및 급탕용 고온수 제조 겸용 가스 엔진 구동 열펌프를 그림 9에 나타내었다. 급탕용 고온수의 수요가 매우 많은 시설물에서 이러한 가스 엔진 구동 열펌프를 사용하면, 열펌프 사이클의 응축기에서 방출되는 열 이외에도 엔진의 배열을 이용하는 시스템을 구성할 수 있고, 에너지 이용 효율을 상승시킬 수 있다. 이러한 가스 엔진 구동 열펌프는 고온수의 수요가 많은 시설에서 많이 쓰이지만, 부가적으로 냉수 및 온수 공급도 가능하다. 그림 9에 나타난 시스템은 열펌프 사이클 및 공기 열교환기, 급탕용 고온수 열교환기, 냉난방용 열교환기 및 배열회수 열교환기로 구성되어 있으며, 급탕전용 모드에서는 응축기의 방열과 엔진의 배열을 모두 이용하여 물을 가열하며, 난방 겸용 모드에서는 압축된 냉매의 일부를 난방용 열교환기로 보내어 냉매를 응축시키면서 이 때 방출되는 열을 온수가 열원으로 사용한다. 냉방 겸용 모드에서는 급탕열교환기에서 응축된 냉매의 일부를 팽창장치에서 팽창시켜 냉방용 열교환기로 보내어 냉수를 만든다.



(a) 고온수 제조 및 냉방 운전 모드



(b) 고온수 제조 및 냉방 운전 모드



(c) 고온수제조 전용 모드

그림 9 가스엔진 구동 열펌프의 고온수제조 및 냉난방 운전

3.7 스테어링엔진 구동 열펌프

꿈의 외연기관으로 불리우는 스테어링 엔진은 열효율이 높고, 많은 종류의 연료 및 열원을 사용할 수 있으며, 배기가스, 소음, 진동 등의 문제가 적은 동력발생 장치이다. 이를 이용해 압축기를 구동하여 증기압축식 열펌프를 작동시키고, 이 때 냉난방을 하는 장치를 스테어링엔진 구동 열펌프라고 한다. 이는 앞서 기술한 가스엔진 구동 열펌프와 개념은 비슷하나, 가스 엔진에 비교하여 스

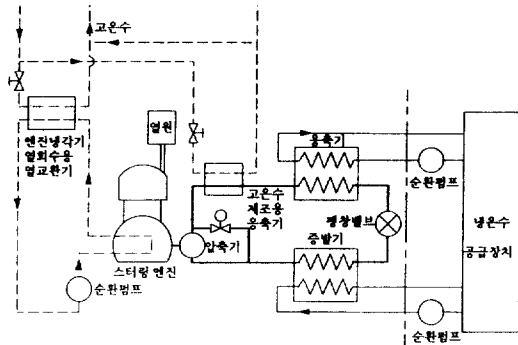


그림 10 스테어링 엔진 구동 열펌프를 이용한 냉온수 공급

터링 사이클의 효율이 월등히 높으므로 에너지 절약의 효과가 상당히 크다. 그러나 기존의 내연기관과 비슷한 성능을 내기 위해서는 작동 헬륨 가스의 압력이 매우 높아야 하며, 가열부의 온도도 수백도에 이르러야 한다. 사이클 구성에 필수적인 재생기의 효율 증대, 피스톤의 완벽한 밀봉, 신뢰성 확보 등이 스테어링 엔진 구동 열펌프의 개발 및 실용화에 필수적이다.

스테어링엔진 구동 열펌프 시스템을 그림 10에 나타내었다. 외부열원으로부터 공급되는 열을 받아서 엔진이 작동되고 이 때 발생하는 축동력으로 압축기를 작동시켜 온수와 냉수를 만드는 사이클로서, 냉매를 사용하는 열펌프는 증기압축식이다.

4. 결 론

지금까지 열펌프 시스템의 기본원리 및 몇가지의 응용에 대해 간략하게 서술하여 보았다. 이외에도 축열이용 열펌프, 지열이용 열펌프, 흡착식 열펌프, 수소 흡착식 열펌프, 화학 반응을 이용한 열펌프, 회전식 열펌프 등 많은 종류가 있으며, 그 응용은 매우 폭넓다고 할 수 있다. 열펌프의 기본적인 특징이 열펌프에 공급한 전기 또는 열에너지보다 더 많은 양의 열에너지를 얻을 수 있다는 것이며, 이러한 특징을 살려 에너지

절약에 이용하는 것이 필수불가결하다고 하겠다. 또한 이러한 열펌프는 회로의 적절한 조합을 통해 여름과 겨울에 냉난방을 겸용할 수 있으므로 기기의 사용율을 높일 수 있으며, 앞으로 냉난방 겸용 기기로서 열펌프의 사용은 계속적으로 확대되리라 예상된다. 다만 이에 따르는 기술적인 문제들을 풀어나가는 것이 앞으로의 과제이다. 현재로서는 열펌프에 대한 인식을 새로이 하여 열에너지의 합리적인 이용을 도모하는 것이 절실히 요구되는 바이다.

참 고 문 헌

1. H.J. Sauer, Jr. and R.H. Howell, 1983, Heat Pump Systems, John Wiley and Sons.
2. ASHRAE, 1993, ASHRAE Handbook, Fundamentals, ASHRAE.
3. Didion, D. A. and Bivens, D. B., 1990, "Role of Refrigerant Mixtures as Alternatives to CFCs", Int. J. Refrig., Vol.13, pp.163~175.
4. Grossman, G., DeVault, R.C., and Creswick, F.A., 1995, Simulation and Performance Analysis of an Ammonia-Water Absorption Heat Pump Based on the Generator-Absorber Heat Exchange(GAX) Cycle, ASHRAE Trans., Vol.101, Pt. 1.
5. Mitchell, J. W., 1983, Energy Engineering, John Wiley and Sons.
6. Walker, G., 1983, Cryocoolers, Part 1 : Fundamentals, Plenum Press.
7. 히트펌프기술개발센터(日), 1992, Heat Pumps in Japan, 제3판.
8. 김효경 역, 1983, 공기조화, 개정3판, 동명사.
9. 민만기, 1994, 열펌프, 냉동용융기술강습회, 공기조화냉동공학회.
10. 오명도, 1993, 흡수식 열펌프를 이용한 냉난방 기술, 공기조화냉동공학, 제22권, 제5호, pp.348~370.
11. Stoecker, W.F. and Jones, J.W., 1982, Refrigeration and Air Conditioning, McGraw-Hill.
12. Grossman, G., 1983, Simultaneous Heat and Mass Transfer in Film Absorption under Laminar Flow, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.26, pp. 357 ~ 371.
13. West, C.D., 1986, Principles and Applications of Stirling Engines, VNR Company, NewYork.
14. Reader, G.T. and Hooper, C., 1983, Stirling Engines, E. & F.N. Spon, London.
15. Bougard, J., 1981, Properties and Uses of Refrigerant Mixtures, Int. J. Refrig., Vol.4, pp.77~82.
16. Jakobs, R and Kruse. H., 1979, The Use of Non-azeotropic Refrigerant Mixtures in Heat Pumps for Energy Saving, Int. J. Refrig., Vol.2, pp. 29 ~ 32
17. 강병하, 1992, VM 사이클 열펌프, 공기조화냉동공학, 제21권, 제1호, pp.19~25.