

熱펌프 (HEAT PUMP) 의 基本原理와 에너지 節約

閔 滿 基

高麗大學校 工科學校 教授
본회설비연구분과위원

1. 序 論

冬節에는 暖房裝置로서 그리고 夏節에는 冷房裝置로서 사용되는 熱펌프는 에너지 절약의 측면에서 그 어느 때보다도 세계적인 관심의 대상이 되고 있다. 1970년대의 석유 공급의 위협과 原油價의 지속적인 앙등으로 기름보일러, 溫風爐 및 電氣溫風爐 등 종래의 주거용 또는 공공건물용 난방장치에 소요되는 에너지의 절감이 각국에서 중요한 국가적인 시책이 되어 왔다. 이를 위해서 서어모스탯의 셋백(설정온도의 저하)을 한다거나 建築物外皮에 보온재의 사용을 법적으로 의무화하는 조치 등이 강구되었다. 여기에서 빼놓을 수 없는 것이 暖房裝置가 소비하는 에너지의 절감이다.

각종 暖房裝置 중에서 오직 熱펌프만이 공급된 열에너지(입력에너지)보다 더 많은 열에너지(출력에너지)를 난방의 목적으로 공급할 수 있는 장치이므로 에너지 절약의 측면에서는 이보다 더 좋은 난방장치는 없다. 뿐만 아니라 電氣驅動이므로 燃燒가스로 말미암은 공해문제가 전연 없으며 같은 장치로 냉방까지 겸할 수 있으므로 냉·난방을 모두 하여야 하는 건축물에 있어서는 年中空氣調和裝置로서 가장 경제적인 장치다.

여기서는 열펌프의 기본 원리와 열펌프가 건물의 에너지절약을 위한 電力空調시스템으로서 얼마나 에너지가 효율적인가를 알아 보기로 한다.

2. 熱펌프의 基本原理

2.1 熱펌프와 冷凍機

그림 1은 가정용 냉장고에서 열이

동이 어떻게 이루어지고 있는가를 보여주는 그림이다. 庫内に 있는 여러 가지 식료품이 보유하고 있는 열을 庫內 높은 곳에 있는 蒸發器(흔히 Freezer라고 부르기도 함)가 흡수하여 압축기를 경유하여 냉장고 뒷편에 있는 凝縮器를 통해서 열을 바깥으로 내보낸다.

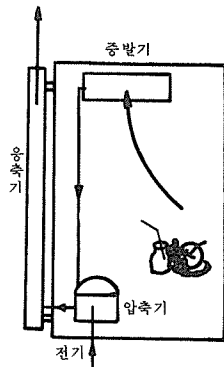
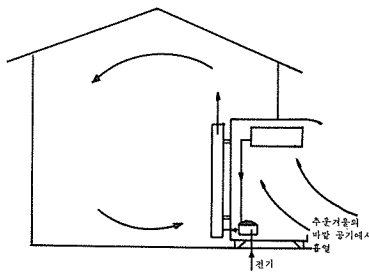
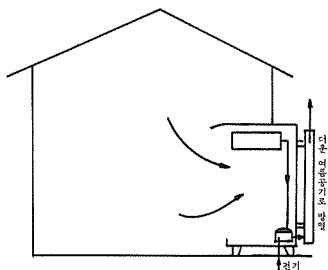


그림 1 냉장고에서 일어나는 열의 흐름



(1) 暖房作用時



(2) 冷房作用時

그림 2 열펌프로 사용한 냉장고

이러한 냉장고를 밖에서 들어 오는 방의 출입문 위에 그림 2(1)과 같이 냉장고의 문이 방 밖으로 향하도록 올려 놓고 스윗치를 넣는다면 庫内の 蒸發器는 방 밖의 공기에서 吸熱하여 냉장고 뒷편에 부착되어 있는 凝縮器에서 放熱하므로 실내 공기는 더워진다. 이때 이 냉장고는 방 밖에서 부터 열을 퍼서 실내로 이 열을 펌핑하여 주는 열펌프(난방장치)로서 작용한 것이다.

한편, 이번에는 여름에 그림 2(2)에서와 같이 냉장고의 응축기가 바깥으로 그리고 냉장고의 여닫는 문이 방 쪽으로 향하도록 냉장고를 돌려 놓고 運轉한다면 냉장고 내 상단에 있는 蒸發器는 방의 열을 흡수하여 압축기를 거쳐 응축기로 부터 여름의 더운 바깥 대기로 방열하게 되므로 이 냉장고는 루움 에어컨으로서의 냉방작용을 한다. 루움 에어컨의 냉방작용의 원리는 이와 다른 바가 없는 것이다. 이 냉장고의 두 가지 작용에서 갖는 공통점은 냉장고가 열을 낮은 온도의 곳에서 높은 온도의 곳으로 搬送한다는 점이다.

에어컨디셔너는 27°C의 실내 熱源에서 흡열하여 이를 30°C 이상인 高溫의 외기(Heat Sink)로 방출하는 작용을 하므로 일종의 열펌프라고 말할 수 있다. 또한 냉장고도 5°C ~ -5°C 정도의 庫內 熱源에서 흡열하여 이보다 고온(27°C 가량)인 실내의 공기(Heat Sink)로 방출하므로 역시 열펌프다.

그러나 에어컨디셔너는 冷房만을 할 뿐이고 냉장고는 냉장만을 할 뿐이기 때문에 역할만은 열펌프와 다

름이 없으나 열펌프라고는 말하지 않으며 통상적으로 에어컨디셔너 및 냉장고라고 각각 불려지고 있다.

루움 에어컨디셔너, 공기조화기 또는 恒温恒濕機 등 각종 공기조화장치(냉방용 또는 산업용의 廣義의 공기조화장치)는 시스템으로서가 아니고 하아드웨어로서 본다면 가정용 냉장고 혹은 산업용 냉동장치와 마찬가지로 廣義의 냉동기에 지나지 않는다.

이와같은 냉동기는 사용목적에 따라 냉방용으로서 또는 냉동용으로 쓰이거나 난방용 또는 가열용(산업용)으로 쓰일 수 있는 것이다. 냉동기가 난방용 또는 가열용(산업용)으로 사용될 때 이를 열펌프라 부르며 이 열펌프는 통상적으로 여름에 냉방용으로 사용될 수 있도록 에어컨디셔너 겸용으로 설계 제작되고 있다.

2.2 冷凍사이클의 基本原理

그림 3은 냉동장치에 필수적으로 갖추어야 되는 4개의 기본요소를 나타낸 그림이다.

압축기에서는 증발기로부터 온 低壓의 차거운 증기(Vapor)를 압축하여 고압의 뜨거운 증기로 만들어 준다. 이것은 대기의 온도보다 더 높은 온도의 증기로 만들어 주어야 다음의 요소인 응축기에서 방열할 수 있기 때문이다. 응축기에서 열을 방출하면 증기는 液化한다. 그러나 압력은 압축기의 吐出밸브에서 나올 때의 고압을 그대로 유지하고 있다.

압축기와 응축기의 목적은 증기를 液化하기 위한 것이다. 그림 4에서와 같이 실린더 속의 고압의 액화 암모니아가 있다. 실린더 위에 있는 밸브를 열면 실린더 내의 고압암모니아증기가 분출하면서 암모니아 액체는 저압에 노출되므로 증발(氣化)하기 시작한다. 氣化하기 위해서는 주위로부터 氣化熱을 흡수하므로 암모니아 液体, 실린더 그리고 그 주위가 냉각된다. 이때 이 실린더는 바로 냉동기 또는 냉장고 내의 증발기에 해당하는 역할을 한다. 증발기는 냉장고에 저장된 식품에서 열을 흡수하여 식품은 저온으로 냉각되는 것이다. 또는 루움 에어컨에서는 실내의 공기로부터 열을 흡수하므로 냉방을 창문에 올려 놓은 루움 에어컨에서 실

내 쪽에 놓인 부분의 요소가 증발기에 해당한다. 그런데 그림 2에서 실린더 내의 암모니아가 모두 증발하여 대기 중으로 방출되면 그 이상 냉각작용을 할 수 없다. 따라서 지속적인 냉각작용을 하기 위해서는 일단 증발한 증기를 액체 상태로 환원시켜주는 액화재생장치가 필요하게 된다.

그림 2에서의 압축기와 응축기가 바로 이 액화재생장치에 해당한다. 응축기 다음의 膨脹밸브도 냉동장치의 中復基本要素의 하나로서 고압액체의 압력을 낮추어 증발하기 쉬운 상태로 만들어 주기 위한 장치로서 그림 2에서 실린더에 있는 밸브에 해당한다. 그림 2에서 膨脹밸브를 거처진 액체는 증발기에서 氣化하면서 주위로부터 목적하는 바의 吸열작용을 해 준다. 이처럼 해서 증발기에서 吸열을 맞춘 암모니아 증기는 압축기로 되돌아 가며 암모니아는 다시 재생 과정에 들어가서 이후 같은 사이클을 끝없이 반복한다.

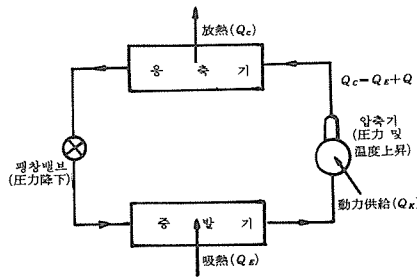


그림 3 냉동사이클의 기본요소



그림 4 고압액화암모니아 실린더

이미 언급한 바와 같이 냉동장치도 목적에 따라 냉방용(또는 냉동용)으로 또는 난방용(또는 가열용)으로 사용할 수 있다. 그림 3에서 증발기의 吸열작용을 이용하면 냉방을 할 수 있고 응축기에서 방출하는 열을 이용해서 난방을 할 수 있다. 換言하면 앞서 냉장고의 경우와 같이 여름에 냉방용으로 사용하던 루움 에어컨을 바깥 쪽에 있는 응축기를 실내 쪽으로 그리고 안쪽에 있던 증발기를 바깥 쪽으로 향하도록 돌려 놓고 겨울에 작동시키면 원리상으로는 난방이

되는 것이다. 이 설치방향을 교체해주는 대신에 기계내부에서 冷媒*의 순환방향만을 자동적으로 변환 시켜 여름에는 냉방을 겨울에는 난방을 하게 해 줄 수 있다.

* 냉동기내를 循環하면서 열을 搬送하여 주는 작동 流体. 프레온(Freon) 이라는 상품명의 冷媒가 많이 쓰임.

2.3 열펌프의 난방사이클과 냉방사이클

그림 5는 이와 같은 열펌프의 난방사이클과 냉방사이클을 보여 준 그림이다. 그림 5의(1)은 열펌프가 난방사이클로 작용할 때의 그림이다. 外氣(겨울에 찬 바깥공기)가 이 외기보다 더 찬 증발코일을 지나면 외기로부터 열이 증발코일내의 冷媒로 전달되고 이 冷媒는 압축기에서 더 높은 온도까지 압축되어 응축기에서 실내 공기를 가열하여 주고 송풍기는 이 따뜻한 공기를 실내에 송출하여 난방을 하게 된다.

그림 5의(2)는 같은 열펌프가 여름에 냉방사이클로 작용할 때의 그림이다. 난방사이클과 냉방 사이클은 작용이 반대로 되는 것 외에는 똑같다. 여름에 증발기는 실내의 공기로부터 열을 吸열하여 압축기를 지나 응축기에서 외기로 방출한다. 열을 빼앗긴 시원해진 공기는 송풍기로 실내로 송출된다.

열펌프는 난방에서 냉방으로 그리고 냉방에서 난방으로 冷媒의 유동방향을 역류시켜 주므로써 사이클을 전환할 수 있다. 이 작용은 四方밸브(4 Way Valve)를 사용해서 이루어질 수 있으나 그림 5에서는 이것이 생략되어 있다. 그림 6에 四方밸브를 사용하여 난방 및 냉방 사이클시의 冷媒循環路를 나타내었다.

통상 열펌프의 運轉은 자동운전이다. 서어모스텝을 원하는 온도에 설정하면 자동제어장치가 운전을 조정하게 된다. 春秋季節의 좀 추운 기간에 열펌프는 난방을 하기도 하고 반대의 경우에 냉방을 해 준다.

열펌프에 있어서는 冬期의 증발기는 외기에서 열을 흡수하지만 여름에는 응축기로서 작용하여 외기로 열을 방출한다. 따라서 옥외에 설치하는 이 열 교환기를 실외유닛 그리고

옥내에 설치하는 열 교환기를 실내유닛이라 부른다.

2.3 熱펌프와 熱源

열펌프란 문자 그대로 열을 펌핑(퍼올리는)하는 기계를 말한다. 펌프는 물을 양수하는 기계지만 열펌프는 그림 7과 같이 열을 저온의 곳에서 고온의 곳으로 퍼올리는 기계로서 저온열원의 형태에는 바깥 공기로 부터 퍼올린 열로 실내 공기를 가열하여 난방하는 空氣對 空氣熱펌프(Air to Air Heat Pump) 외에도 지하수, 地熱 또는 태양열 등 여러가지가 있다.

열펌프란 오일 또는 가스 등의 연료와 같이 연소로 인한 열로 난방 또는 가열을 하는 것이 아니고 적절한 저온의 열원이 있어 이 冷媒가 증발하면서 이 열을 흡수하여 압축기가 압축하므로써 높은 온도수준으로 높여 이 열을 원하는 곳으로 방출하는 것이다. 따라서 열펌프는 추운 겨울의 외기, 강물, 지하수, 地熱, 태양열 그리고 건축물이나 공장에서 배출되는 배기나 배수 등과 같이 사용 안하고 있거나 버려지고 있는 비교적 저온의 열원을 에너지源으로 하고 있는 것이다.

열펌프의 운전성능과 경제성은 열원의 온도에 따라 크게 좌우된다. 열펌프의 성능계수는 열펌프 사이클의 고온과 저온의 온도차가 작아질수록 좋아지며 난방을 목적으로 하는 열펌프에 있어서 난방 방식의 차이는 있으나 고온측의 온도는 큰 차이가 없고 보통 40°C 이하는 거의 볼 수 없고 대략적으로 45°C로 볼 수 있다.

따라서 열펌프의 성능계수가 좋아지려면 열원의 온도는 높아야만 한다.

대기 중에 존재하는 공기는 어디서나 존재하며 어느 때나 얻을 수 있는 열원으로서 투자비가 비교적 적게 들기 때문에 주택을 포함한 건물의 난방용 열펌프에 널리 이용되고 있다. 그러나 대기 중의 공기온도(-25°C ~ 15°C)는 변동이 심하고 실외 유닛의 소요공간이 커지고 영하의 기온에서는 실외유닛에 얼어 붙는 서리를 제거하는 除霜裝置의 문제가 있고 성능이 급격하게 떨어지는 단점이 되고 있다.

지하수(10°C ~ 15°C)나 온천수 등에 있어서는 年間的 온도변화가 거의 없는 열원으로서 실외유닛의 소요공간이 작아도 되며 성능계수는 높아진다. 그러나 腐蝕으로 인한 높은 정비비, 지하수는 어디서나 얻을 수 없다는 제약 그리고 우물 파기에 달렸지만 투자비가 매우 높아지는 것이 상례가 되고 있다는 등의 결점을 지니고 있다.

지하 2~10m 정도의 地熱(-5°C ~ 15°C)도 어느 때나 얻을 수 있는 열원으로서 열펌프의 열원으로 사용되나 코일을 地中에 埋設하여야 하므로 건물 주변에 빈터가 있어야 한다는 것과 암반 등 때문에 공간적 제한을 받으며 투자비가 매우 높아지는 결점이 있다.

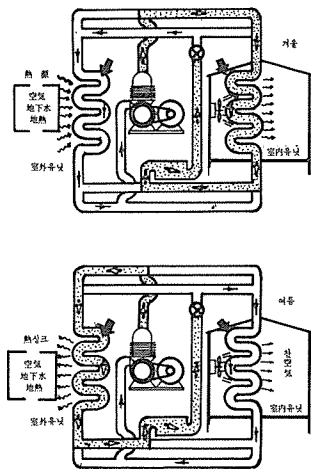


그림 5 열펌프의 온방사이클과 냉방사이클

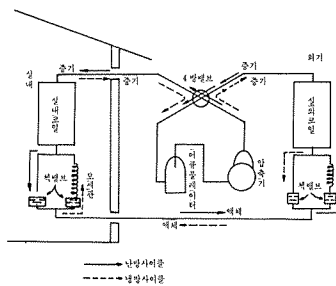


그림 6 熱펌프의 冷媒循環路

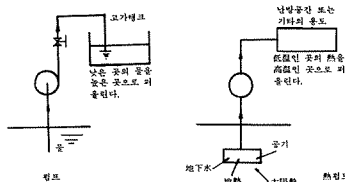


그림 7 揚水펌프와 熱펌프에 對한 概念上의 比較

태양열도 어디서나 얻을 수 있는 열원으로서 운전비가 매우 적은 集熱器에 따라 달라지는 장점을 가지고는 있으나 日氣에 따라 사용 가능한 시간의 변화가 매우 심하고 사용 시

간을 예측할 수도 없다. 集熱器와 蓄熱器 때문에 소요공간이 커지고 투자비가 매우 높아지며 集熱器는 건물 南側에 두어야 하며 건축구조상의 특수조건 등 제약이 뒤따른다.

또한 건축물 또는 공장에서 배출되는 溫排水나 溫排氣를 이용하여 냉난방 및 온수공급 등을 하는 열원은 에너지 회수에 활용된다.

2.4 熱펌프의 性能係數

열펌프의 성능은 성능계수(Coefficient of Performance)로 나타내고 COP로 표시한다.

난방사이클로 작용할 때의 열펌프의 COP는 다음과 같이 정의한다(그림 3 및 8 참조).

$$COP = \frac{Q_C(\text{실내유닛의 방열량})}{Q_K(\text{압축기의 입력동력})}$$

여기서 실내유닛(응축기)의 방열량 Q_C 는 실외유닛(증발기)의 흡열량, Q_E 와 압축기의 압축열량, Q_K 를 합친 것, $Q_C = Q_E + Q_K$ 이므로 압축기를 驅動하는데 소요되는 열에너지 입력, Q_K 보다 Q_E 만큼 더 큰 열량을 실내에 공급한다.

그림 8의(2)에서 電熱器(Electric Heater)로 난방하는 경우에는 電力入力量, Q_K 만이 난방열량으로 공급되지만 그림 8(1)의 열펌프에서는 Q_K 보다 더 큰 熱量이 공급되므로 같은 입력에너지로 더 큰 난방 효과를 얻는다. 만일 $Q_K = 1$ 이고 $Q_E = 2$ 이면 $Q_C = 3$ 이 되므로 입력 에너지의 3배의 에너지를 얻는 셈이다.

유사한 논리를 水力터어빈으로 전개한다면, 200m의 落差를 갖고 있는 수력발전소에서 양수 펌프에 100m의 落差에 상당하는 에너지를 공급하여 댐의 물에 100m의 追加落差를 주어 300m의 落差를 얻는 경우와 비유된다. 열펌프에서는 소비한 에너지의 3배의 에너지를 발생한 셈이 된다.

3. 熱펌프와 에너지節約

앞서 성능계수를 정의하였지만 이것은 열펌프에 입력으로 들어간 에너지가 얼마만큼의 큰 有効出力에너지(또는 몇배의 출력 에너지)가 되어 난방을 하는가를 나타내는 수치이다. 化石에너지(1차에너지)를 도입하여 發電을 하고 送電線을 거쳐 어느

최종의 受電빌딩에서 열펌프를 사용해서 난방하는 경우와 1차 에너지를 트럭으로 직접 수송하여 그 빌딩에 설치된 보일러에서 직접 燃燒시키는 경우에 있어서 성능계수를 비교하면 그림 9와 같이 된다.

석유원유, LNG, 또는 원자력에 의한 發電 어느 것이든 증기터빈發電에 있어서 發電效率이 대체로 40% 정도이고 송전효율은 5%의 손실로 보면 빌딩 受電점의 효율은 35%가 된다. 熱펌프의 電動機入力(1차에너지)에 대한 출력의 比, 즉 COP가 3이라고 보고 發電所의 입력을 100%로 본다면 열 효율은 35%×3=105%가 된다. 한편 연료를 빌딩에서 직접 연소하는 난방시스템에서는 보일러 효율 70%로 본다면 1차에너지에 대하여 열효율은 같은 70%가 된다.

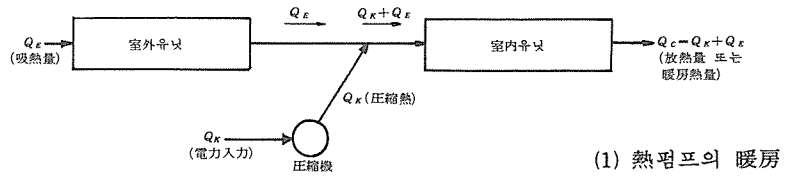
즉 열펌프(또는 電力空調라고도 부른다)는 105%이고 보일러의 경우에는 70%의 열효율이 되므로 열펌프는 연료를 직접 빌딩에서 연소하는 시스템에 비하면

$$\frac{100/105}{100/70} = \frac{1}{1.5} = 0.667$$

이므로 약 67%의 수입에너지만으로 같은 에너지 수요는 충당할 수 있을 것이다. 우리나라의 연간 총 에너지 소비량의 거의 40%가 냉난방에너지로 소비되는 실정을 본다면 電力空調가 국가적인 견지에서 매우 에너지 효율적인 난방시스템임을 알 수 있다.

4. 맺는 말

공기열원의 열펌프는 안전하고 공해가 전연 없으며 에너지 효율적이어서 건물의 냉난방장치로서 우수한 특성을 가지고 있다. 우리나라에서는 두어 군데의 기업에서 조립생산계획 중에 있으며 慶元機械에서는 이미 日本 Hitachi의 기술로 열펌프식 全天



(1) 熱펌프의 暖房



(2) 電熱器의 暖房

그림 8 電熱器暖房과 熱펌프(또는 電力空調)의 熱量比較

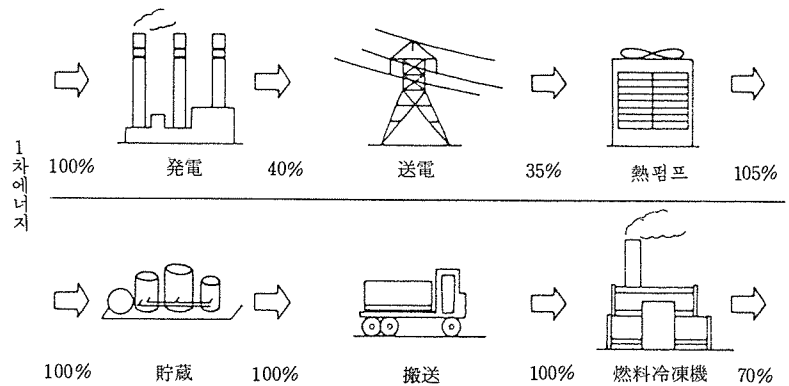


그림 9 輸入에너지의 熱效率(電力空調와 보일러)

候에어콘(8,500 ~ 30,000Kcal/hr)이 시판되고 있다. 그러나 우리나라는 電力料금이 매우 비싸다는 취약점을 지니고 있다. 세계 각국 중 전력요금이 가장 비싼 싱가포르 다음으로 비싼 나라가 되고 있어서 電力空調에 의한 에너지 절약의 장애 요인이 되고 있다.

미국은 1981년에 이미 50만대의 공급실적이 있으며 1980년대 중반에는 열펌프의 공급이 100만대가 넘으리라는 예측을 하고 있다. 캐나다와 같이 추운 나라에 있어서도 열펌프에 대한 연구개발은 활발하며 추운 北歐地方의 나라에서도 철저한 보온과 소형 열펌프 Add-on形(기존의 중앙식 爐에 열펌프유닛을 추가하는 형) 그

리고 Hybrid形(복합형) 열펌프의 개발이 유망하다. 서독 연방의 研究開發省은 2,100万弗의 예산으로 열펌프 개발 계획을 현재 지원하고 있다.

한편 이웃 나라 日本은 1982년의 年間出荷台數 18만대로서 이는 패키지 에어컨의 약 60%에 해당하며 이 비용은 해마다 증가하고 있다. 또한 빌딩용 대형 열펌프의 보급은 1975년에 300여건을 웃돌고 있다.

앞으로 에너지 절약의 사회적인 그리고 국가적인 요구는 가속화 될 것으로 보인다. 이를 위하여 우리나라도 신설의 건축설비는 물론이고 기존의 空調시스템도 조만간 電力空調 시스템으로 改替되어야 한다는 것은 필연적인 일이다.

參考文獻

1. H. Ludwig von Cube & Fritz Steimle (Translated by Lise M. Heinrich), Heat Pump Technology, Butter Warths, 1981.
2. Agricultural Research Service, U. S. Dept. of Agriculture, Heat

3. Pumps for Heating and Cooling Homes, Agriculture Information Bulletin No. 306, 1966.
3. Energy Research and Development Administration, Heat Pumps, ERDA Technical Information Center.
4. 中村猛, 建築技術進書ス, ビルの

- 省エネルギー, 學藝出版社, 1978.
5. 閔滿基, 熱펌프의 오늘과 내일, 가스安全, 韓國가스安全公社, 第9卷第2號, 1983, p. 19.
6. 望月正雄, ヒートポンプの歴史と現狀, 空氣調和・衛生工學第57卷第10號, 1983, 10.