

연간 성능을 고려한 가정용 태양열-흡수식 히트펌프의 에너지 절약효과 분석

An Analysis of Energy Savings on the Solar-Absorption Heat Pump Systems
for the Residential Use with the consideration of Annual Performance.

이 재 효*, 이 관 수,** 원 승 호,*** 이 명 호****
J. H. Lee, K. S. Lee, S. H. Won, M. H. Lee

Key Words : Absorption Heat Pump (흡수식 열펌프)

Solar-absorption Heat Pump (태양열-흡수식 열펌프)

Annual Performance Factor (연간 성능계수)

Cost Performance Factor (비용 성능계수)

ABSTRACT

Studies on the annual performance of three different type of solar-absorption heat pump system (parallel type, series type, and generator type) are carried out by using the computer simulation. These include the calculation of solar energy from the solar collector, and the revision of computer package, developed by Oak Ridge National Laboratory, to predict the annual performance. Finally using weather data and load conditions, the annual performance are obtained. Results show that the annual operating costs of three solar-absorption heat pump systems are almost same values and 44% lower than that of the pure absorption heat pump system. The total annual input energys of solar-absorption heat pump systems are also about 44% lower than that of the pure absorption heat pump. The nominal size of the solar-absorption heat pump systems can be reduced to a value of 55% that of the pure absorption heat pump that would normally be specified under identical conditions.

1. 서 론

국민 경제의 향상에 따라 에너지 수요는 점
점 증가하는 추세이지만, 주요 에너지원인 석
유는 전량 외국에 의존하고 있어 불안정한 국
세정세에 따라 가격의 급등과 함께 수급조차
불안정해지고 있다. 이에 따라 에너지 대체

방안인 태양열, 풍력, 지열 등의 개발 및 기
존 에너지의 효율적인 사용에 큰 관심이 모
아지고 있다. 기존 에너지를 효율적으로 이
용하는 방안으로는 히트펌프의 활용이 이미
외국에서는 보편화 되어 있으나¹⁾, 국내에
서는 이에 대한 연구의 부족 및 소비자의
인식 부족으로 보급이 늦어지고 있다. 외

* 정회원, 건국대학교 기계공학과

** 정회원, 한양대학교 기계공학과

*** 정회원, 동력자원연구소

**** 건국대학교 대학원

국에서는 여름철의 냉방부하에 따라 최대 전력사용이 나타나고 있어 히트펌프의 활용을 통하여 여름철의 전력설비를 겨울철에도 고르게 사용할 수 있도록 전력 공급회사에서 많은 관심과 보조가 있어 왔다. 국내에서도 1989년²⁾ 여름철에 냉방 부하가 전체 전력 소비의 21% 정도를 차지하면서 최대 전력 사용이 나타나며, 이에 따라 전기 예비율이 급격히 떨어지고 있고, 계절간의 불균형이 커지고 있다. 따라서, 여름철의 냉방 부하에 따른 전력 소비를 줄이는 것이 급선무이다. 여기에는 기존 전기식 히트펌프의 10% 정도의 전력이면 가능한 흡수식 히트펌프의 활용이 최대 전력 소비를 크게 낮출 수 있어 막대한 시설 투자비를 절약할 수 있으며, 주야간 및 계절간의 균형적인 전기 사용을 유도할 수 있어, 요즈음에는 한국전력주식회사에서 심야의 전기료를 주간과의 1/3 수준으로 하고 히트펌프와 제축열 장치에는 시설비를 보존하고 있어 앞으로 급속히 보급될 것으로 예상된다.

이러한 관점에서 무효의 에너지원인 태양열 에너지와 이의 효율적인 사용을 위한 히트펌프의 결합은 위의 두가지의 효과를 극대화시킬 수 있는 방법으로 주목을 받고 있다. 현재까지의 태양열을 이용한 히트펌프는 압축기식이나 흡수식 히트펌프에 태양열을 증발기의 열원으로서 사용하여 다른 열원(공기 또는 물)보다 높은 온도에서 열을 공급할 수 있어 성적계수를 높일 수 있다. 또한 태양열을 채열하는 집열기도 태양열을 직접 난방에 사용하는 경우 보다 좀 더 낮은 온도에서 집열하기 때문에 집열기의 효율을 향상시킬 수 있어 크기를 줄일 수 있다.³⁾

소비자의 입장에서 새로운 냉난방 장치의 선택에는 여러가지 요인이 있을 수 있으나 연간 소비비용이 구체적으로 계산되어 절약되는 경비와 초기투자의 회수가 얼마만에 되는가 등이 가장 중요한 요인이 될 것이다. 여기에는 연간 기상 자료와 표준되는 건물이 선정되어 연간 성능계수가 계산되어야 할 것이다. 그러나 현재까지 국내에서 개발되는 흡수식 히트펌프는 연간 기상조건을 고려하지 않고 특정

한 외부 기상조건에 가정하여 성능이 계산되어 타 난방연료 사용장치와의 비교가 어려운 실정이다.

이 연구에서는 태양열-흡수식 히트펌프의 세 가지 시스템(병렬형, 직렬형, 발생기형)과 순수 흡수식 히트펌프의 연간 성능계수와 소비비용을 계산하여 태양열-흡수식 히트펌프가 구체적으로 연간 얼마만큼 에너지와 소비비용을 절약하여 소비자에게 기여할 수 있는가를 구하려고 한다.

2. 태양열 집열기에 의한 축열량 해석

2.1 F-Chart 방법

태양열 과정을 설계하는 데는 계산하는 절차에 따라 세 가지의 일반적인 방법이 있다. 이 세 가지 방법 모두 태양열 장치의 장기적인 유용한 출력을 예측할 수 있지만 과정을 설명하는 정보는 제공하지 못한다. 첫번째 종류에는 집열기의 작동온도가 주어진 경우에 적용된다. 이 중의 한 방법인 활용성법(Utilizability Method)은 시간별 기상자료의 해석을 기초로 하여 전체 달에 대한 비율을 결정하는 것이다. 두번째 설계방법에는 많은 수의 정밀 시뮬레이션의 결과를 이용하여 성능을 예측하는 비교적 간단한 관계식을 만드는 것이다. F-Chart 방법도 한 예로 1976년에 Klein⁴⁾이 개발하였으며, 많은 시뮬레이션의 결과를 쉽게 계산되는 무차원 변수로 하여 관련식을 유도하였다. 세번째의 설계방법은 간략화한 시뮬레이션 결과에 기초를 둔 것으로 기상 자료의 대표적인 날이 사용되며, 그 결과가 장기적인 성능을 예측하는 데에 관계된다. SOLCOST 방법⁵⁾은 구름이 없는 날과 구름이 있는 날을 시뮬레이션한 다음 매달의 시스템 성능을 얻기 위하여 평균 구름 정도에 따라 가중치를 고려하여 계산하는 것이다.

F-Chart^{4,6,9)} 방법은 태양 난방시스템에서 전체 난방 부하에 대한 태양열의 비율을 예측하는 방법으로 사용된다. 그 주요 변수는 집열기 면적이고 2차 변수들은 집열기 형태, 축열용량, 유량, 부하 및 집열기 열교환기의 크

기 등이다. 이 방법은 수백개의 태양열 난방 시스템의 시뮬레이션의 결과를 함수화 한 것이다. 이 시뮬레이션의 변수들의 범위는 실제의 시스템의 적절한 범위로 변화된다. 이 결과 월별 태양열 에너지의 난방 부하에 대한 비율인 F 는 2개의 무차원변수의 함수로서 표시된다. 이 무차원 변수는 난방 부하에 대한 집열기 손실의 비와 난방 부하에 대한 흡수 태양복사열의 비에 관련된 것이다. F-Chart는 세계의 표준시스템 배열인 난방에 대한 액체와 공기 시스템, 서어비스에 대한 시스템, 온수 공급시스템에 대해 개발되었다. 액체로 열을 전달하는 표준 난방시스템의 간략화한 선도는 Fig.1에서 보여준다. F-Chart법에 의해서 얻은 결과는 실제 측정된 결과와 비교 되었다. 2년 동안의 MIT⁶⁾의 태양열 주택 I에서 태양열이 공급한 비율이 52%이고, F-Chart에 의해 57%로 계산되었다. CSU House II⁷⁾에서는 72%를 실제 태양이 공급한 에너지이나 F-Chart에 의한 예측은 76%를 나타내고 있

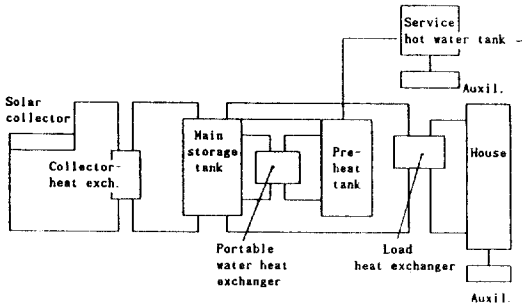


Fig.1 Schematic diagram of standard liquid heating system

Table 1. 국내에 설치된 태양열 주택⁸⁾

건물주	소재지	건평	집열수	비율	대체효과	비고
이내원	서울	45	7.5	0.17		1974년
김용동	서울	59	16	0.27	25%추정	1974년
이상수	서울	40	9	0.23		1974년
김효철	서울	68	12	0.18	20%추정	1975년
이상국	서울	70	15	0.21		1976년
양길수	부산	60	17	0.28		1976년
KIST	서울	23.5	8	0.34	43%	1977년

어 F-Chart에 의해 비교적 근사하게 예측할 수 있다.

태양열 의존도를 계산하기 위한 자료로는 서울에 위치한 표준형 주택과 4장에서 계산한 난방부하를 사용하였으며 태양열 의존도 계산에 가장 큰 영향을 미치는 집열기의 면적은 Table 1⁸⁾을 참고로 하여 국내에서 연구용으로 건축된 한국과학기술연구원(KIST)의 난방면적 대비 집열기의 비율을 사용하였다.

2.2 태양열 의존도 계산을 위한 자료⁹⁾

2.2.1 일반사항

- a) 위 치 : 서울(37° 34" N, 126° 58" E)
- b) 주거인수 : 4인
- c) 종 류 : 액체식
- d) 적 용 : 주거용 난방 및 온수 급탕
- e) 난방면적 : 87.5m²
- f) 동파 방지 대책 : 부동액 주입 방식

2.2.2 집열부

- a) 집열기면적 : 30m²
- b) 설치각 : 남향 45° 경사
- c) 지면반사율 : 0.2
- d) 집열기 투명체 수효 : 1
- e) $F_R(\tau\alpha)n = 0.77$
- f) $F_R U_L = 5.8 \text{ kcal/m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}$
- g) 집열 열전달 매체 종류 : Ethylene Glycol/물, 50/50
- h) 집열 유량 : 54ℓ/hr-m²
- i) 집열 열교환기 유효계수 : 0.7

상기의 자료를 이용하여 서울의 태양열 의존도를 구한 결과 F 의 값이 0.52로 나타났다.

3. 히트펌프의 성능 및 국내 기상자료의 변경

흡수식 히트펌프는 저온의 열에너지를 흡수하는데 효과적인 시스템으로, 전력소모가 적고 소음과 진동이 적으므로 운전 및 보수가 용이하며 수명이 길다. 현재 실용화된 작동유체로는 물-LiBr, 암모니아-물 등이 있으며, 이에 대한 열역학적 연구는 1940년대부터 수행되었으며 최근에는 여러가지의 작동유체도

활발히 연구되고 있다.

여기서는 가정용으로 실용화 되어있는 물-LiBr을 작동유체로 하는 흡수식 히트펌프를 모델로 하였다. 연간 성능계산을 위해서는 주위온도에 따른 성적계수, 냉동효과, 난방효과 및 전력소비 등이 나타나야 하고 운전하지 않을 경우의 전력소비 등의 자료가 필요하게 되어, 여기서는 Table 2와 같은 미국의 흡수식 히트펌프의 자료¹⁰⁾를 이용하여 계산하였다. 국내의 자료를 구하여 계산하려고 하였으나, 자세한 자료가 표시되어 있지 않아 불가능하였다. 그러나 전반적인 값은 큰 변화가 없을 것으로 생각된다.

연간 냉난방 부하계산을 위한 기상자료로는, Oak Ridge National Laboratory(ORNL)에서 개발된 Monthly Thermal Loads(MAD) 프로그램¹⁰⁾을 이용하여 부하계산을 하기 때문에 빈도표 자료(Bin data) 또는 시간별 자료(Hourly data)가 사용 가능하나 경량구조의 가정용 집에는 빈도표 자료가 적합하다. 빈도표 자료란 외기온도를 2.8℃(5°F)의 간격으로 각 달별로 빈도수를 계산한 자료를 말한다. 여기서는 한국공기조화·냉동공학회에서 1990년에 표준화한 기상자료를 사용하며, 기상자료의 입력양식은 일본공기조화·위생공학회에서 1980년에 개발한 HASP/ACLD 8001의 입력양식에 준하여 외기 건구온도, 외기습도, 직달 일사량, 천공 일사량, 구름량, 풍향, 풍속 등 7가지의 자료가 매 시간 간격으로 되어 있다. 따라서 2.8℃ 간격의 빈도표 자료로 변경하여야 하고, 외기습도 대신 외기 습구온

Table 2. 흡수식 히트펌프의 성능(미국자료)¹⁰⁾

	주위온도(℃)	용량(kcal)	성적계수
난방	-23.3	14.4×10 ³	0.95
	-17.8	15.1×10 ³	1.0
	- 8.3	16.9×10 ³	1.12
	8.3	18.9×10 ³	1.25
	19.4	20.6×10 ³	1.36
냉방	25.6	8.1×10 ³	0.535
	35.0	7.6×10 ³	0.5
	40.5	7.0×10 ³	0.464

도로, 풍속과 수평 일사량은 월별 평균값으로 기상자료를 변경하였다.

4. 냉난방 부하

현재 세계적으로 널리 사용되고 우수한 부하계산 이론으로 인정받고 있는 것은 ASHRAE¹¹⁾의 CLTD/CLF 부하계산 방법이다. 이 방법은 계산 과정에서 적용할 자료량이 상당히 많고 계산 절차가 복잡하여 손계산으로 하는 데는 시간과 노력이 많이 든다. 따라서 대부분 외국에서는 전산 프로그램으로 개발하여 보다 신속하고 효율적인 부하계산 업무를 수행하고 있다. 여기서는 CLTD/CLF 부하계산으로 미국 ORNL에서 개발한 MAD 프로그램을 이용하여 경량 구조의 단독 주택의 냉난방 부하계산을 하였다. 이 MAD 프로그램은 월간 난방부하, 온수부하와 냉방부하를 사용자가 원하는 집의 구조, 크기 등과 지역의 기상자료에 따라 계산할 수 있다.

Table 3. 소도시형 주택 1

면적	동	서	남	북	전체면적
외벽	16.38	16.56	13.98	24.8	71.72
창문	0	2.16	14.82	3.42	20.40
마루					87.55
천장					87.55

- 주) 1. 면적의 단위는 m²
 2. 외벽과 창문의 값은 외부에 노출된 면적임.

표준 주택으로는 경량구조의 단독 주택으로 건설부에서 1988년에 발간한 소도시형 표준주택¹²⁾을 선정하여 부하계산을 하였다. 대표적인 국내 표준 주택 1동의 크기를 Table 3에 표시하였다. 또한 외국의 대표적인 주택과 비교하기 위하여 미국의 대표적인 2동의 주택에 대해서도 부하계산을 하였다.¹³⁾

5. 연간 성능계수를 위한 시뮬레이션

5.1 Cycling 손실

성능 및 효율에서의 동적 손실은 성에의 형

성, 성에의 제거 그리고 Cycling에 기인한다. 일반적으로 이런 비정상상태의 작동에 의한 손실이 전체의 15~20%로 알려져 있어 이에 대한 조사가 필요하게 되나 이는 현장에서 수년간을 측정하여 계산하여야 하기 때문에 여기서는 여러 문헌^{13~20)}을 조사하여 합리적인 손실계수를 채택하였다. 위에서 문헌을 조사한 바와 같이 현재까지 흡수식 히트펌프에 대한 Cycling 손실계수를 연구한 것은 없었다. 더욱이 가장 보급이 많은 공기열원 히트펌프에 대한 cycling 손실계수도 통일된 값을 가지고 있지 못하고 있다. 손실계수에 영향을 미치고 있는 주요 요인들은 on-time, 시간당 사이클, 주위 온도, 냉매의 총진량 및 열교환기들의 열용량이다. 흡수식인 경우에도 그 주요 요인들은 마찬가지로 때문에 증발기의 열원이 공기 또는 물에 따라 손실계수의 값이 변할 것이다. 따라서 냉방시에는 공기열원의 값을 사용하고 난방시에는 공기열원과 물열원의 평균치를 사용한다.

5.2 태양열 에너지의 히트펌프에의 응용

태양열 에너지를 히트펌프에 적용하는데는 난방시와 냉방시로 구분하여 태양열의 이용을 구별하였다.

5.2.1 난 방 시

흡수식 히트펌프의 발생기에는 가스 가열 장치를 사용하여 열을 공급하고 집열기에서의 태양열 에너지를 증발기의 열원으로 사용한다. 그러나 F-Chart에 의한 태양열 의존도 계산에서는 전체의 에너지량을 계산할 수 있다. 따라서 여기서는 1979년의 Anderson²¹⁾의 논문에서 병렬시스템에 대해 F-Chart를 이용하여 각 빈도표 온도에서 의존도를 계산한 방식을 이용하였다. 집열기의 축열을 증발기의 열원으로 사용할 경우 축열의 온도를 26.7℃ (80°F)로 하여 그 때의 성적계수를 이용하였으며, 일반적으로 축열되는 온도인 60℃ 보다 낮게 계산된 것은 축열조의 온도를 낮추어 집열효율을 높게 하기 위한 방법이다. 따라서 아래와 같은 세 가지 방식에 의해서 난방시의 태양열에 의한 효과를 계산

하였다.

1) 병렬시스템 (Parallel system)^{1, 5, 22)}

가장 단순한 혼합 태양열-히트펌프의 시스템은 기본 태양열 시스템에 기본 히트펌프 시스템을 보조 열원으로 사용하는 것이며, Fig. 2에 표시되어 있다. 태양열 에너지로 가능하면 실내부하를 공급하고, 실내온도가 요구되는 온도보다 낮아질 경우 히트펌프를 작동시킨다. 태양열 에너지나 히트펌프로 실내 요구 부하를 공급하지 못할 경우 보조 전기히타로 설정온도를 유지시킨다. 따라서 계산시에는 실내 난방부하에서 태양열 의존도만큼을 제외하고 나머지 부하에 대해서는 공기열원 히트펌프로 공급하는 것으로 한다.

2) 직렬시스템 (Series system)

직렬 시스템은 히트펌프를 Fig. 3과 같이 태양열 시스템과 실내부하의 중간에 설치하여 태양열에 의한 축열이 실내부하를 공급하기 충분할 경우 태양열 시스템으로 실내 난방을 하고, 태양열만으로 불충분하고 축열조의 온도가 히트펌프의 증발기의 열원온도로 사용할 수 있는 온도 이상이 되면 태양열 에너지를 증발기의 열원으로 사용하여 열을 공급한다. 태양열 에너지가 증발기에 공급되고 여기에 기상

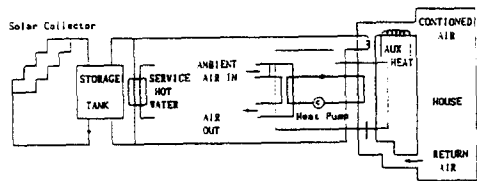


Fig.2 Schematic diagram of the parallel solar heat pump system

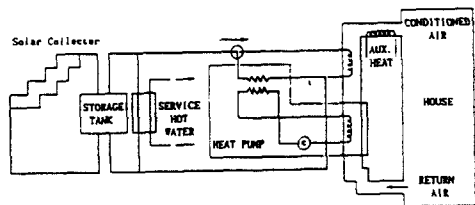


Fig.3 Schematic diagram of the series solar heat pump system

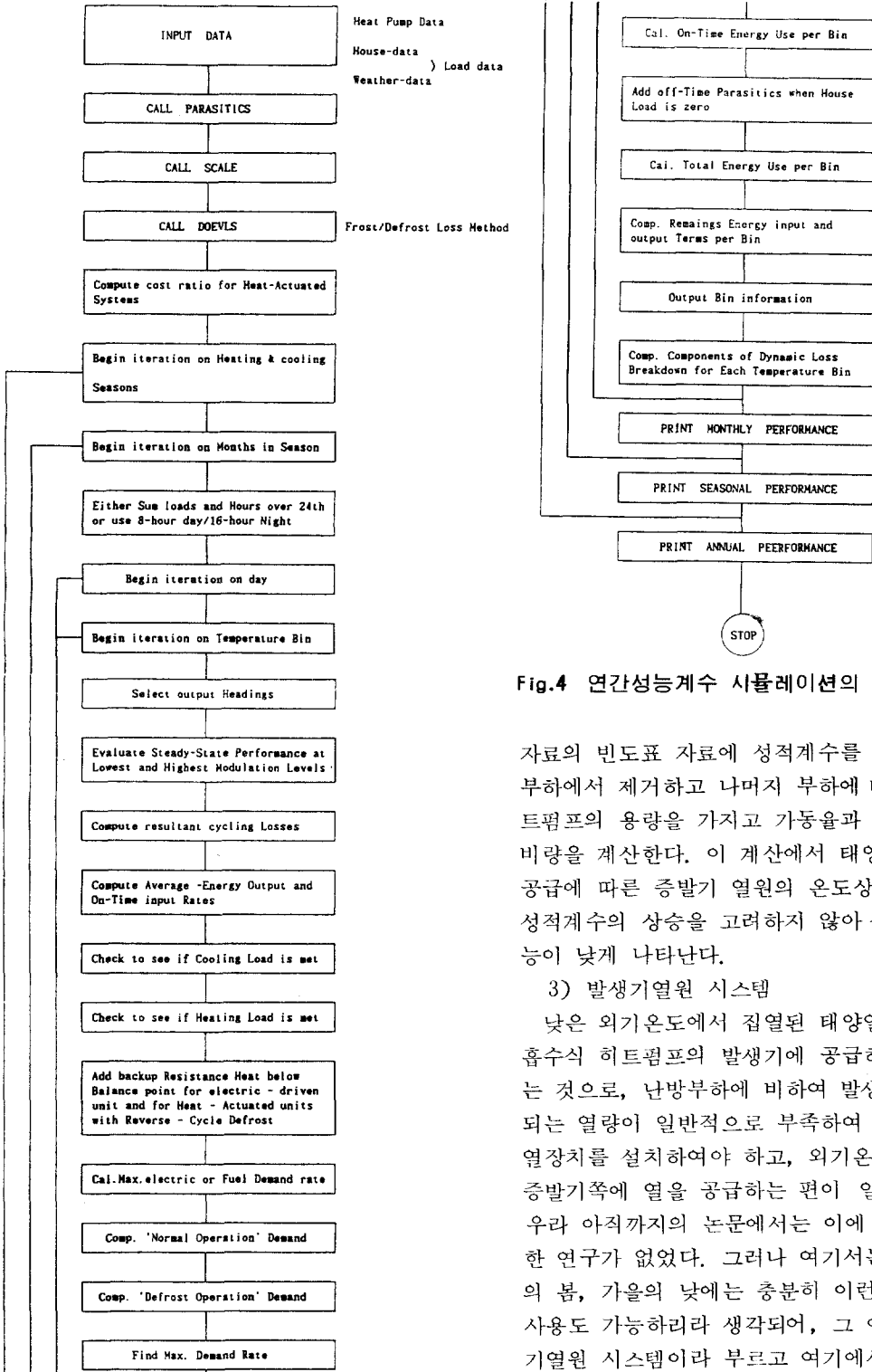


Fig.4 연간성능계수 시뮬레이션의 Flow-Chart

자료의 빈도표 자료에 성적계수를 곱해 난방 부하에서 제거하고 나머지 부하에 대해서만 히트펌프의 용량을 가지고 가동율과 가스의 소비량을 계산한다. 이 계산에서 태양열 에너지 공급에 따른 증발기 열원의 온도상승에 대한 성적계수의 상승을 고려하지 않아 실제보다 성능이 낮게 나타난다.

3) 발생기열원 시스템

낮은 외기온도에서 집열된 태양열 에너지를 흡수식 히트펌프의 발생기에 공급하여 난방하는 것으로, 난방부하에 비하여 발생기에 공급되는 열량이 일반적으로 부족하여 별도의 가열장치를 설치하여야 하고, 외기온도가 낮아 증발기쪽에 열을 공급하는 편이 일반적인 경우라 아직까지의 논문에서는 이에 대한 뚜렷한 연구가 없었다. 그러나 여기서는 우리나라의 봄, 가을의 낮에는 충분히 이런 시스템의 사용도 가능하리라 생각되어, 그 이름을 발생기열원 시스템이라 부르고 여기에서 다른 방법들과 비교 검토하였다. 계산시에는 태양열

에너지가 발생기에 공급된다고 가정하고 여기에 히트펌프의 성적계수를 곱해서 난방부하에서 제거하고, 나머지 부하에 대해서만 히트펌프의 용량을 가지고 가동율과 가스의 소비량을 계산한다. 이 경우는 태양열 의존도계산이 태양열 직접 난방에 대한 계산이기 때문에 이 정도의 태양열에너지의 온도로 발생기의 열원으로 사용한다고 가정할 수 있고 증발기의 외부열원은 외기가 되어, 외기에 대한 히트펌프의 성능에도 변화가 없다.

·5.2.2 냉방시

태양열 에너지를 발생기의 열원으로 하여 이 열원에 히트펌프의 COP를 곱하여 냉방부하에서 감하고 나머지 냉방부하에는 보조열원인 가스 가열장치에 의해 발생기에 열이 공급되고 히트펌프의 용량에 의해 가동율과 입력에너지를 계산한다. 현재까지는 LiBr-H₂O 시스템에만 가능하고 NH₃-H₂O 시스템은 고온도를 요하기 때문에 실용화 되어 있지 못하다.

5.3 컴퓨터 시뮬레이션

이 연구를 위하여 ORNL에서 개발한 연간 성능계수 프로그램을 기본으로 하였다. 그러나 이 ORNL의 모델이 원래 공기열원 히트펌프 프로그램으로 개발되었기에 태양열 에너지를 사용하기 위하여 바로 앞절에서 언급한 대로 수정하였다. 이 모델은 2년동안 미국의 Knoxville, Tennessee에서 실험하여 유효한 것으로 밝혀졌다. 즉 계절 성능계수에 대한 예측이 난방 계절에는 3.6~7.0% 낮고, 냉방 계절에는 5.1~7.8% 높고, 연간 기준으로는 0.5~1.9% 범위에서 차이가 난다.

연간 성능계수를 계산하기 위한 프로그램의 주요 구성은 다음과 같다. 먼저, 입력자료로서 정상상태 때의 기준 조건하에서의 히트펌프의 성능을 주위온도 변화에 따라 용량과 입력에너지를 자료로 하며, 프로그램의 부하부분은 연간 기상자료와 건물의 자료가 요구되는데, 기상자료로는 빈도표의 자료를 사용하며 그 양식은 8시간의 낮시간과 16시간의 밤시간의 외기온도로 되어 있고 월별로 되어 12개월의 자료가 요구된다. 건물의 자료는 벽, 창문, 문,

지붕 및 마루 등의 면적과 방향, 열전달 계수가 필요하다. 다음으로, 히트펌프가 냉난방 효과를 내지 않고 정지했을 때도 필요한 최소한의 입력에너지를 자료로 집어 넣는다. 일정한 히트펌프의 용량을 가지게 연간 소비에너지를 계산한 결과와 히트펌프의 용량을 변화해서 계산한 결과들을 비교하여 최적의 히트펌프용량을 선정하기 위해서 용량을 Scaling하는 프로그램이 필요하다. 다음으로 매일의 냉난방부하와 가동율 및 소비에너지를 Cycling 손실도 고려하여 계산하고 이것을 합하여 각 달의 부하 및 소비량을 구하고, 또 일년의 부하와 소비량, 연간 성능을 구한다. 여기서는 유동도만 Fig.4에 나타내었다.

6. 시뮬레이션 결과의 고찰

6.1 일 반

연간성능을 계산하기 위해서 5장에서 설명한 난방시의 3가지의 시스템과 냉방시의 1가지 시스템에 대해 아래에 설명하는 3가지 계산식에 의하여 3동의 한국주택과 2동의 미국주택에 대하여 비교 검토하였다. 일반적으로 냉난방 장치의 성능을 표시하는 데에는 연간 성능계수를 이용하는 것이 보통인데 무료인 태양열 에너지를 이용하는 경우 연간 성능계수에는 히트펌프 자체만의 성능만을 나타내기 때문에 태양열에 의한 성능을 표시할 수 없어 여기서는 연간 성능계수 대신에 무료 태양에너지를 고려한 비용 성능계수를 사용하였다. 즉 총 출력에너지를 전기로 공급했다고 가정할 경우의 총 운영비와 실제 냉난방을 하기 위한 총 운영비의 비율을 의미하며 총 출력에 태양열에 의해 공급된 에너지를 포함시키면 태양열에 의한 영향도 고려될 수 있다. 예를 들어 비용 성능계수가 5인 경우는 만일 전기를 사용할 경우 현재 비용의 5배가 필요하다는 의미이다.

여기서 Fig.5~14의 각각의 주택에 대한 기호 설명은 다음과 같다.

* H942. SEL : 한국 도시형 주택 1 (건평 26.5평)

- * H1800. STD : 미국의 실험주택(건평 50.6 평)
- * TECHHS. DAT : 미국의 실험주택(건평 32.5평)
- * H935. SEL : 한국 도시형 주택 2(건평 26.3평)
- * H932. SEL : 한국 도시형 주택 3(건평 26.2평)
- * 자세한 자료는 참고문헌 (23)을 참조하기 바람.

6.1.1 입력 에너지(Input Energy)

흡수식 히트펌프가 냉난방하는 동안에 필요한 연료의 발열량 및 송풍기, 펌프 등에 들어가는 전기, 히트펌프가 작동되지 않을 경우 필요한 최소 전기소비량 등을 포함한 총입력 에너지를 말한다.

6.1.2 비용 성능계수(Cost Performance Factor)¹⁰⁾

열에너지로 작동되는 흡수식 히트펌프와 전기로 작동되는 히트펌프와의 경비를 직접적으로 비교하기 위하여 계산되었으며 비용 성능계수(Cost Performance Factor : CPF)의 계산식은 아래와 같다.

비용성능계수(CPF)

$$= \frac{\text{전기에 의해서 공급된다고 가정했을 때의 비용}}{\text{공급된 에너지에 대한 실제 비용}}$$

$$= \frac{\text{시스템의 출력} + (\text{태양열로 무료로 공급된 에너지})}{(\text{공급된 연료에너지/가격비}) + \text{공급된 전기출력}}$$

그리고 가격비(Cost Ratio)는

가격비(CR)

$$= \frac{\text{단위 에너지당의 전기요금}}{\text{단위 에너지당의 연료비}} = \frac{C_E}{C_F}$$

$$CPF = \frac{(\text{시스템의 출력} + \text{태양열로 공급된 에너지}) \times C_E}{\text{공급연료입력} \times C_F + \text{공급전기입력} \times C_E}$$

여기에서 계산시에 사용된 전기요금은 64.29 원/kWH(주택용 1990년 5월 2일 조선일보)이

고 가스요금은 210.66 원/m³(주택용 1990년 5월 1일 기준)이다.

6.1.3 소요 운영비(Operating Cost)

냉난방 기간 동안에 소요되는 모든 소요 경비를 계산하는 것은 소비자의 입장에서 시스템을 선정하는 데에 제일 중요한 인자중 하나이다. 또한 소요 경비를 계산할 수 있으면 초기 투자에 대한 회수 기간도 계산할 수 있어 새로운 방법의 에너지 절약 장치를 보급하는데에 크게 기여할 수 있다. 소요 운영비용의 계산은 비용 성능계수를 계산할 때 사용한 식을 이용하여 계산한다.

운영비용(Operating Cost)

$$= \frac{\text{시스템의 출력} \times \text{단위 에너지당의 전기요금}}{\text{비용 성능계수(CPF)}}$$

6.2 시뮬레이션 결과의 고찰

입력 에너지, 비용 성능계수, 소요 운영비 등을 계산하기 위하여 4가지의 시스템 즉, 순수 흡수식 히트펌프 시스템, 병렬시스템, 직렬시스템, 발생기 시스템에 대하여 3개의 서울의 표준주택과 2개의 미국의 주택을 서울의 기상조건에 따라 계산하고 서로 비교 검토하였다. 계산시 히트펌프의 적정 용량의 크기를 결정하는 방법으로 냉방시에는 보조장치의 사용이 불가능하기 때문에 냉방시의 가동율이 100% 또는 99% 되는 용량을 선정하여 모든 기상조건에도 냉방부하를 공급할 수 있도록 하였다. 따라서 히트펌프의 크기는 냉방시에는 최대가동율이 50%도 되지 않는 과용량의 크기가 선정되었다. Fig. 5~7에 난방기간, 냉방기간, 연간의 총 에너지가 그림으로 나타난다.

Fig. 5에 따르면 난방 기간 동안의 입력에너지는 연간 총 입력 에너지와 비교하여 모든 시스템에 대하여 한국형 주택에서는 15.8%~16.8%를 보여주며, 미국형 구조에서는 25.9%~27.7%를 나타낸다. 따라서 총 입력에너지는 냉방 기간 동안의 입력에너지에 절대적인 영향을 받는다. 각 시스템과의 비교는 병

렬형이 순수 히트펌프보다 한국형 주택에서는 43.3% 정도 줄어들고, 직렬형에서는 47.2% 정도, 발생기형에서는 52.3% 정도 입력에너지가 감소하며, 미국형 주택에서는 병렬형이 순수 히트펌프보다 45% 정도 줄고, 직렬형에서는 49% 정도, 발생기형에서는 54.5% 정도 감소하여 국내 주택 구조보다 2% 정도 더 감소하고 있다. 냉방기간 동안의 총 입력에너지는 Fig. 6에서 병렬형은 순수 히트펌프보다 한국형 주택에서 42.1%~42.8%의 감소를 보여주며, 미국형 주택에서는 47.1%의 감소를 나타내고, 타 시스템에 대해서도 동일한 결과를 보여준다.

연간 총 입력에너지는 Fig. 7에서 병렬형은 순수 히트펌프보다 한국형 주택에서는 42.5% 정도의 감소를 보여주며, 직렬형에서는 43.5% 정도, 발생기형에서는 44.2% 정도의 입력에너지의 감소를 보여준다. 미국형 주택에서는 병렬형이 46.6%, 직렬형이 47.6%, 발생기형이 49.2% 정도 순수 히트펌프로 작동했을 때보다 감소한다. 그 원인으로서 태양열 에너지의 공급에 의하여 F-Chart 법에 의하면 52%의 태양열 의존도에 따라 총 입력에너지가 의존율보다 10%~3% 작은 율의 감소를 보여준다.

비용 성능계수는 Fig. 8~10에 표시되어 있으며, Fig. 8에 의하면 난방시에 한국형 주택이나 미국형 주택은 똑같은 경향을 갖는다. 태양열을 이용한 병렬형이 순수히트펌프 보다는 110% 정도 비용 성능계수가 상승되어 약 5.55를 나타내며 전기로 난방하는 것보다는 경비가 18% 정도로 낮아진다. 직렬형은 히트펌프보다 125% 정도 상승되어 약 6.0 정도를 나타내며, 발생기형은 히트펌프보다 70% 정도 상승되는 것으로 나타낸다. 여기서 난방시의 흡수식 히트펌프의 성적계수가 0.8 정도로 나타내어 성적계수가 1 이하가 되어 병렬형이나 직렬형보다 비용 성능계수가 낮게 나타났다.

Fig. 9에 따라 난방시에 비교하여 보면, 흡수식 히트펌프로 작동되는 경우는 전기로 작동되는 히트펌프보다 25% 내지 30% 정도

경비를 절약할 수 있다. 태양열을 이용하면 흡수식 히트펌프보다 30% 정도 비용 성능계수가 상승된다. Fig. 10에 의하면 연간 비용성능계수는 히트펌프 시스템보다 병렬형이 53% 정도 향상되며, 직렬형이 55% 정도, 발생기형이 38% 정도 향상된다.

각 시스템이 작동되어질 때 소요되는 비용을 Fig. 11~13에 나타내었다. 먼저 난방기간 동안의 총 운영경비는 Fig. 11에서와 같이 한국형 주택에서는 연간 총 경비의 약 16% 정도이며, 미국형 주택에서는 약 27% 정도를 나타낸다. 금액으로는 건평 26.5평 정도의 한국형주택에서는 흡수식 히트펌프의 작동시스템에는 23.6만원에서 25.4만원 정도 소요되며, 미국형 주택에서는 25.5만원에서 32.4만원 정도가 소요된다. 여기서 단순히 태양열 시스템을 혼합한 병렬형에서는 44% 정도인 약 10만원이 절약된다. 미국형 주택에서는 약 45% 정도인 11.5~14.7만원 정도가 절약된다. 직렬형은 히트펌프보다 47% 정도 절약되며, 금액으로는 병렬형에 비하여 1만원 정도 절약된다. 미국형 주택에서는 약 49% 정도 절약되며, 병렬형에 대해 1만원 정도 절약된다. 발생기형은 한국 주택형에서 약 52% 정도 히트펌프보다 절약되며, 금액으로 병렬형에 대해 약 2.2만원 정도 절약된다. 미국형 주택에서는 히트펌프보다 약 54% 정도 절약된다. 냉방기간 동안의 소요경비는 Fig. 12에서, 한국형 주택인 경우 흡수식 히트펌프로만 작동될 때 약 120~127만원 정도 소요되며, 기타 태양열이 혼합된 시스템에서는 약 42.5% 정도 절약되어 약 53만원 정도를 히트펌프보다 적게 소요된다. 미국형 주택인 경우 히트펌프인 경우 약 66.7~92.5만원 정도 소요되며, 태양열이 가미된 시스템에서는 47%인 30~40만원 정도를 절약할 수 있다. 연간 총 소요경비는 Fig. 13에서 건평이 26.5평 정도인 한국형 주택에서는 히트펌프의 경우 약 150만원 정도가 소요되며, 병렬형에서는 약 42% 정도인 약 63만원 정도가 절약된다. 직렬형에서는 병렬형보다 약 1만원 정도가 절약되며, 발생기형은 직렬형보다 약 1.2만원

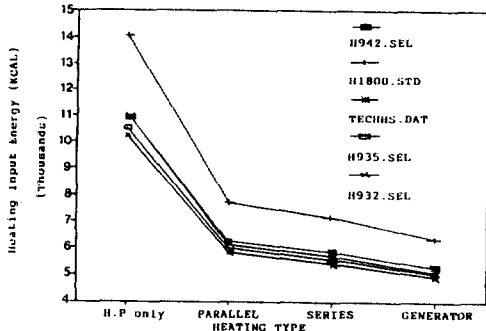


Fig.5 Input energy for heating season

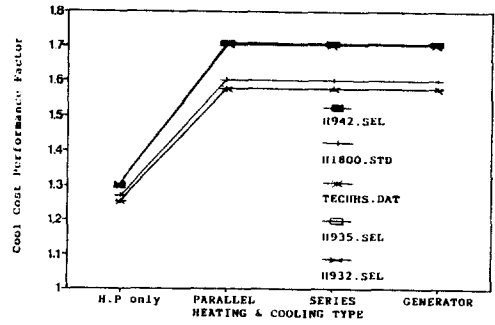


Fig.9 Cost performance factor for cooling season

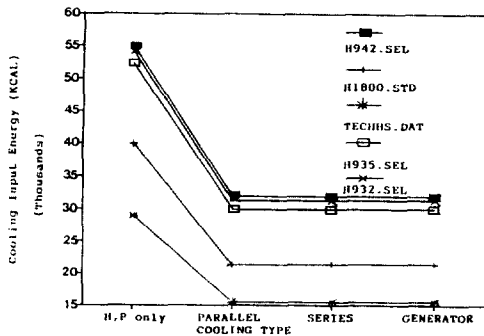


Fig.6 Input energy for cooling season

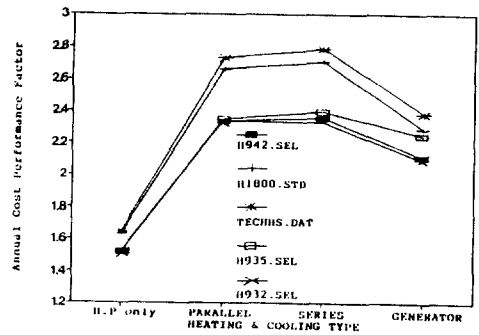


Fig.10 Annual cost performance factor

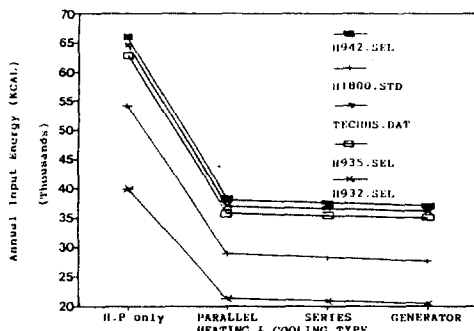


Fig.7 Annual input energy

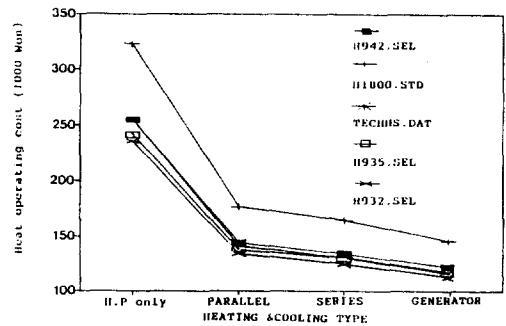


Fig.11 Operating cost for heating season

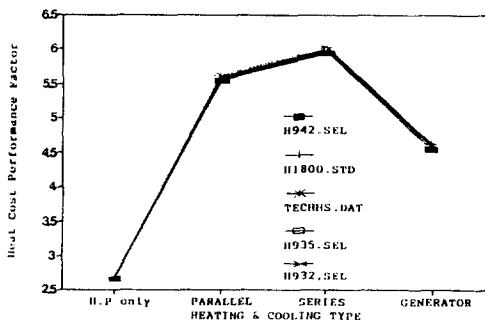


Fig.8 Cost performance factor for heating season

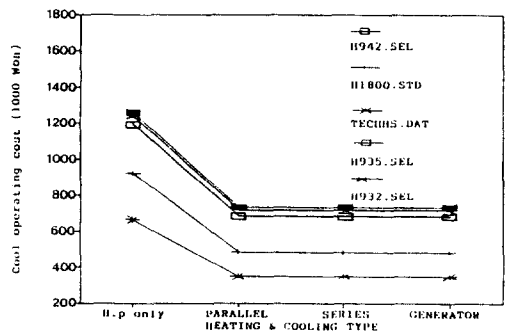


Fig.12 Operating cost for cooling season

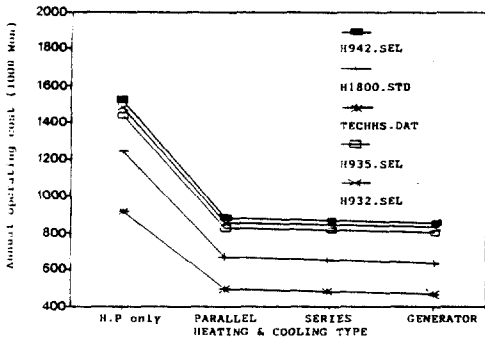


Fig.13 Annual operating cost

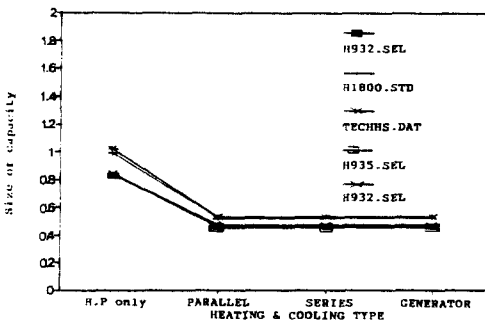


Fig.14 Size of heat pump capacity

정도가 절약된다. 미국형 주택에서는 순수 히트펌프에서 약 92.3~125만원 소요되며 병렬형은 46.6%인 43~61만원 정도 절약되며 직렬형 및 발생기형은 각각 병렬형에 비해 각각 1만원, 2만원 정도의 절약이 된다.

마지막으로 용량의 크기를 비교하였다. 적절한 용량을 선정하기 위한 기준으로 냉방시에 모든 조건의 기상자료에 대하여 공급할 수 있는 용량을 기준하였다. 그 값들이 Fig.14에 표시되며, 태양열을 이용하는 병렬, 직렬, 발생기 시스템들은 순수 흡수식 히트펌프로 작동하는 것보다 용량이 55% 정도 감소하여 히트펌프의 초기 투자를 줄일 수 있다.

7. 결 론

최적의 태양열-흡수식 히트펌프 시스템을 선정하기 위하여 병렬형, 직렬형, 발생기형 등 3가지의 태양열-흡수식 히트펌프 시스템과 비교의 기준으로서 순수 흡수식 히트펌프 시

스템을 선정하여 계산하였다. 연간 총 입력에너지의 관점에서는 병렬형이 약 42.5%의 절약을 얻으며, 직렬형이나 발생기형 모두 병렬형에 비해 1~2% 정도의 감소를 나타내어 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 비용 성능계수에서는 병렬형이 히트펌프보다 약 53% 정도 향상되었으며, 직렬형 시스템에서는 55% 정도 향상되었다.

총 운영비용면에서는 건평 26.5평 정도의 주택에서 150만원 정도가 소요되는 흡수식 히트펌프보다 병렬형이 42% 정도인 63만원 정도가 절약되고 직렬형은 1만원 더 절약되고 발생기형은 직렬형보다 1만원 더 절약된다. 따라서 엄밀한 해석에 따르면 발생기형이 제일 좋은 것으로 나타났으나, 기술적인 면에서 아직 문제점이 있는 것으로 발표되고 있어 다음인 직렬형이 좋은 것으로 나타났다. 그러나 병렬형과도 별로 차이가 없어 단지 제작상의 용이도 및 초기투자 비용에 따라 결정되어지는 것이 좋다. 또한 운영비용이 냉방시가 전체의 84% 정도를 나타내기 때문에 설계시에는 냉방을 우선적으로 고려하여야 할 것이다.

태양열과 흡수식 히트펌프를 혼합한 시스템은 소비자의 입장에서는 연간 흡수식 히트펌프보다 약 42~43%의 비용절감을 얻으며, 흡수식 히트펌프만의 사용도 전기 히트펌프에 비하면 약 34% 정도 비용이 절감되어 26.5평의 주택에서 약 63만원의 절약을 얻는다. 또한 태양열을 이용한 시스템들은 히트펌프의 용량을 55% 정도 줄일 수 있어 그만큼 작은 크기의 히트펌프를 사용하여 초기투자를 줄일 수 있다. 물론 태양열을 이용하기 위한 시설에 들어가는 비용이 있기 때문에 그에 대한 투자비를 계산할 수 있으면 절약되는 비용을 알기 때문에 구체적인 투자 회수기간을 계산할 수 있다.

전력회사의 입장에서는 현재의 냉방시스템을 전부 태양열-흡수식 히트펌프로 대체할 경우 많은 전력수요를 절약할 수 있어 막대한 투자비를 절약할 수 있으며, 전력시설의 고른 가동율로 이익을 올릴 수 있다. 국가적인 입장에서는 전체적인 냉난방 입력에너지를 태양

열을 이용하므로써 44% 정도 감소시킬 수 있어 에너지비용을 줄일 수 있다.

후 기

본 연구는 1990년도 대체에너지 사업의 일부로 수행되었으며 관계자 제위께 감사를 표한다.

참 고 문 헌

1. Sauer, H.J. Jr and Howell, R.H., 1983, *Heat Pump Systems*, John Wiley & Sons.
2. 김진성, 1989. "냉난방을 위한 축열시스템과 심야전력 요금제도", 공기조화·냉동공학, 제18권 제6호, pp.491~497.
3. Suzuki, M., Devine, M. and Kumin, H., 1985, "An Analysis of Solar Heating Systems That Use Vapor-Compression Cycles," *Solar Energy*, Vol. 34, No. 1, pp. 43-57.
4. Klein, S.A., Beckman, W.A. and Duffie, J.A., 1976, "A Design Procedure for Solar Heating Systems," *Solar Energy*, 18, 113.
5. Connelly, M., Giellis, R., Jenson, G. and McMordie, R., 1976, "Solar Heating and Cooling Computer Analysis-A Simplified Sizing Method for Non-Thermal Specialists," *Proceedings of the International Solar Energy Society Conference*, Winnipeg, 10, 220.
5. Duffie, J.A. and Beckman, W.A., 1980, *Solar Engineering of Thermal Process*, John Wiley & Sons, Inc.
6. Engebretson, C.D., 1964, "The Use of Solar Energy for Space Heating-M.I.T. Solar House IV," *Proceedings of the U.N. Conference on New Sources of Energy*, 5, 159.
7. Ward, D.S., Lof, G.O.G., Smith, C.C. and Shaw, L.L., 1977, "Design of a Solar Heating and Cooling System for CSU House II," *Solar Energy*, 19, 79.
8. 박원훈, 1978. "국내 태양에너지 연구", 태양에너지 제1권 제1호, pp.10~15.
9. 한국동력자원연구소, 1980. 태양에너지 이용기술개발(열 연구부문), 연구보고서, SERI-H-80-2.
10. Rice, C.K., Fischer, S.K. and Emerson, C.J., 1988, "The Oak Ridge Heat Pump Models: II. An Annual Performance Factor/Loads Model for Residential Air-Source Heat Pumps," ORNL/CON-160, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee.
11. ASHRAE, 1985, *ASHRAE Fundamentals*.
12. 건설부, 1988. 소도시형 표준주택과 농촌형 표준주택.
13. Parken, W.H. Jr., Beausoliel, R.W. and Kelly, G.E., 1977, "Factors Affecting the Performance of a Residential Air-to-Air Heat Pump," *ASHRAE Transactions*, Vol. 83, Part 1, pp. 839-850.
14. Bonne, U., Patani, A., Jacobson, R.D. and Mueller, D.A., 1980, "Electric-Driven Heat Pump Systems: Simulations and Controls II," *ASHRAE Meeting*, LA-80-5, No. 4.
15. Goldschmidt, V.W., Hart, G.H. and Reiner, R.C., 1980, "A Note on the Transient Performance and Degradation Coefficient of a Field Tested Heat Pump-Cooling and Heating Mode," *ASHRAE Transactions*, Vol. 86, Part 2, pp. 368-375.
16. Baxter, V.D. and Moyers, J.C., 1984, "Air-Source Heat Pump: Field-Measured Cycling, Frosting, and Defrosting Losses, 1981-83," *ORNL/CON-150*, Oak Ridge National Laboratory.
17. Mei, V.C., 1984, "Laboratory Test of a Residential Low-Temperature Water-Source Heat Pump," Oak Ridge, Tennessee
18. Miller, W.A., 1985, "The Laboratory Evaluation of the Heating Mode Operation of an Air-to-Air Heat Pump," *ASHRAE*

Transactions, Vol. 91, Part 2.

19. Kao, J.Y., Mulroy, W.J., and Didion, D.A., 1987, "Field Performance of the Three Residential Heat Pumps in the Heating Mode," *NBSIR 87-3528*, National Bureau of Standards.
20. Department of Energy, U.S.A. 1979, "Test Procedures for the Central Air Conditioners, Including Heat Pumps," *10 CFR Part 430*, Federal Register, Vol. 44, No. 249, pp. 76700-76723.
21. Anderson, J.V., Mitchell, J.W., and Beckman, W.A., 1979, "A Design Method for Parallel Solar-Heat Pump Systems," *Paper at International Solar Energy Society Meeting, Atlanta*.
22. 日本太陽エネルギー學會, 1985. 太陽エネルギー利用ハンドブック.
23. 이재효, 이관수, 이명호, 1991, "연간 성능계수를 고려한 흡수식 히트펌프의 최적화 설계", 연구보고서 90-A 502-103DG, 동력자원부.