

## 동력자원연구소의 압축식 히트펌프의 연구현황

Some Researches of Compression Type Heat Pump in KIER

조 명 제\*  
Myong Jae Cho

### 1. 서 론

히트펌프 기술은 2차 석유판동후 늦게나마 점차 관심이 파급되어 왔고 그동안 수차례의 세미나 또는 강연회가 개최되었다. 또 히트펌프 기술에 관한 정부특정연구가 '86년부터 시작되었다. 이는 정부와 민간의 에너지 이용합리화 인식이 고조된 까닭으로 생각된다.

신진국의 경우는 IEA가맹국간에 이에 관한 연구개발이 '70년대 초기부터 활발하여 이미 많은 실용기가 생산 보급되어 왔다. 국가사정에 따라 히트펌프 보급 주종은 가정 및 빌딩의 Bivalent 방식 또는 Monovalent 방식의 냉난방용과 난방전용 기종이며 이것은 상대적으로 전력에너지원이 원자력, 수력, 석탄 등 대체에너지원이거나 값싼 연료에 의존하고 있기 때문에 COP가 낮아도 국가적인 에너지절감이 가능하면 국가실정에 따라 보급이 활발해질 수 있다고 본다. 그러나 한국에서의 냉열 및 온열 발생방식은 전통적으로 산업, 건물 및 상업 등 모든 분야에서 유류 또는 석탄을 연소시켜 공정의 가열과 난방열을 얻고 냉열은 냉동기에 의존하는 것이 상식으로 되어 왔다. 또한 국내 전력에너지원이 과거 대부분 유류에 의존하고 있었기 때문에 전력가격이 유류가격에 비해 상대적으로 높았고 장치성능이

미흡하여 이용이 저조한 실정이었으나 최근 정부시책에 따라 히트펌프 등 축열장치의 심야전력요금의 재조정 인하여 이의 보급을 촉진하고 있다. 최근 에너지원별 전력구성비는 원자력 점유율이 증가되어 장치 히트펌프 이용은 그 전망이 밝다고 느껴진다.

건물의 냉난방용 공기-공기 히트펌프가 국내 업체에서 연간 수천대 생산 판매되고 있으나 국내 기후조건으로 남부 일부지역을 제외하고는 한냉지에 속하며 장치성능이 충족되지 못하기 때문에 주로 냉방전용으로 사용되고 있다. 공기-물 또는 물-물 히트펌프는 외국수입품으로 호텔 및 시범건물에 10여기가 설치 가동되고 있을 뿐이다. 한편 MVR 시스템은 10여 산업체에 외국에서 수입하여 가동하여 에너지 절감에 기여하고 있다.

히트펌프에 대한 특정연구는 현재 제 2종 흡수식 히트펌프는 KAIST에서 실험실적인 연구를 완료하여 기업에 기술이전 시범중에 있으며, 제 1종 흡수식 히트펌프는 KIMM에서 연구중에 있다. 압축식 히트펌프는 KIER에서 2년차 연구를 끝내 3년차에 착수중이며, 고려대학교에서도 연구중이다.

이하 KIER에서 수행중인 압축식 성능개선, 주거용 히트펌프 시스템 및 온천 승온용 히트

\*정회원, 한국동력자원연구소 에너지기기연구부장



표 2 개발분야

개선사항	기술적인문제
간극체적 감소	1. 가장 적절한 피스톤 구조의 개발 2. 치수 정확도의 개선
밸브개선	1. 저저항 밸브유로의 개발 2. 가장 적절한 밸브 형상의 개발 3. 적절한 밸브 강도의 설정
유로손실의 감소	1. 가스응축으로 인한 손실 및 가스속도 감소 2. 파이프 진동의 감쇄 3. 흡입 및 토출 챔버의 최적화 4. 소음기의 최적화
흡입가스 과열감소	1. 직접 흡입시스템의 개발 2. 모우터 냉각시스템의 개발

개선사항	기술적인문제
	3. 흡입유로 구조의 최적화
기계적손실의감소	1. 적절한 보어 및 스트로크의 개발 2. 실린더 수 및 배열의 최적화 3. 스트로크와 로드 비의 최적화 4. 베어링 신뢰도 증대 5. 축 및 컨벡팅 로드의 강도 증대 6. 피스톤구조 및 실린더의 최적화 7. 치수 정확도의 개선 8. 가공 정확도의 개선
모우터 효율개선	1. 같은 크기 및 제작비에서의 모우터 효율개선
신뢰성 증대	1. 지지 구조 2. 구성요소 강도

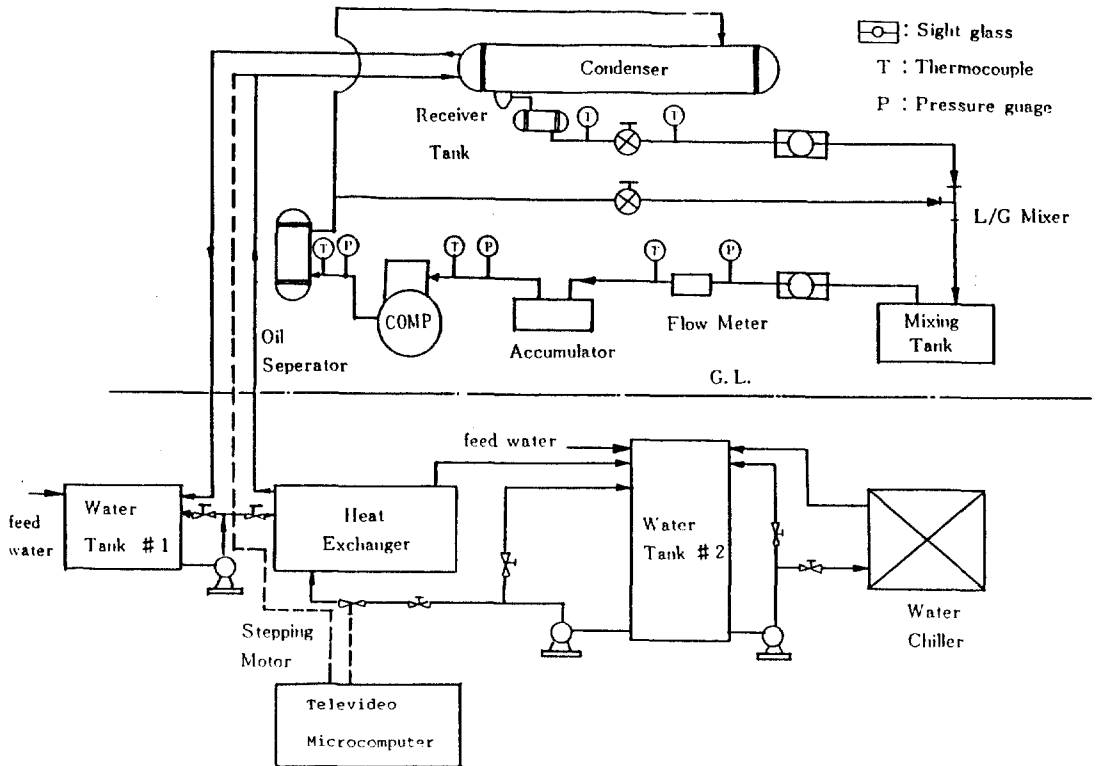


그림 1 Compressor Test Loop

나. 계측장치

TEST LOOP의 계측시스템은 그림 2와 같다.

2-3 실험결과

가. 실험범위

실험은 개발 모델인 외국제품과 기존 국산 압축기 및 CONVEX TYPE를 채택하고, 행정체적을 줄였으며 이에 따른 모우터 및 프레임을 개선한 시작품을 대상으로 7.5 HP 압축기에 대해 냉매 R22를 사용하여 2가지 사이클에 대해 과열도를 바꿔가며 실험하였다.

- 표준조건(Standard Condition)
  - 증 발 온 도 : -15 °C
  - 응 축 온 도 : 30 °C
  - 흡입가스온도 : -15 °C(과열도)
- 정상조건(Normal Condition)
  - 증 발 온 도 : 7.2 °C
  - 응 축 온 도 : 54.4 °C
  - 흡입가스온도 : 35 °C(과열도 27.8 °C)
  - 액 냉 매 온 도 : 46 °C(과냉도 8.4 °C)

나. 실험결과 및 고찰

1) 가스유량, 용량 및 입력

실험결과는 그림 3과 같다.

시작품인 신행은 행정체적을 줄임으로서 구형에 비해 입력, 용량, 가스유량이 저하되었음을 알 수 있으며, 개발모델인 외국제품은 열 펌프사이클에 해당하는 Normal Condition에서 구형보다 더 큰 용량을 나타냄을 알 수 있다.

다. 성적계수(C.O.P.), 에너지 효율비(EER), 성능효율( $\eta_p$ )

성능효율은 유량효율 및 에너지 효율의 2개념을 종합한 값으로 다음과 같이 구할 수 있으며, 이 성능효율은 다른 용어들의 값으로 표시가 가능하다.

$$\eta_p = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_i} \times \frac{\dot{m}_a \Delta h_i}{E_{in}}$$

여기서,  $\dot{m}_i = \frac{VN_p}{60}$  : 이상적인 유량

단,  $V$  : 실린더 행정체적

$N$  : 회전수(rpm)

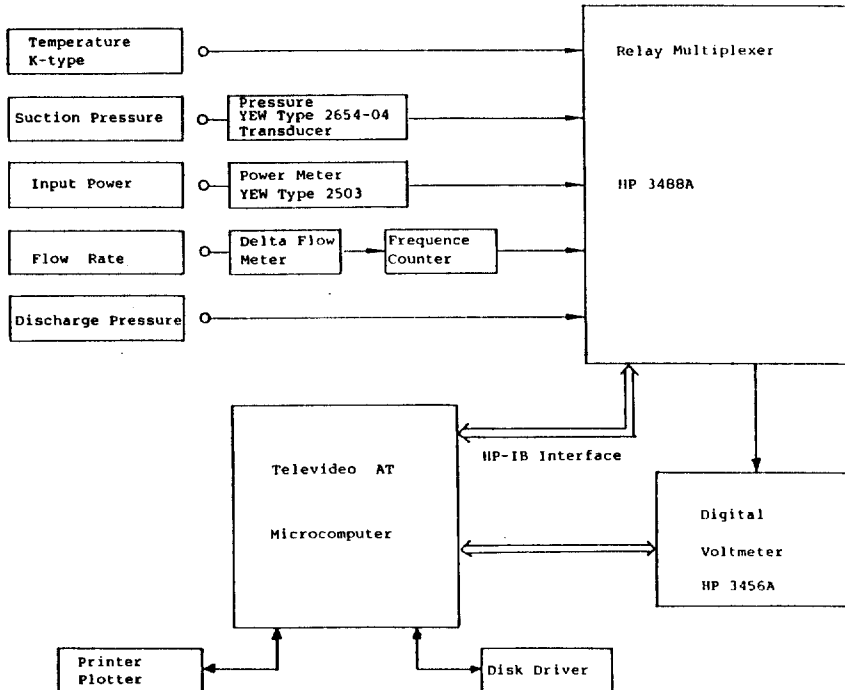


그림 2 Test loop의 계측시스템

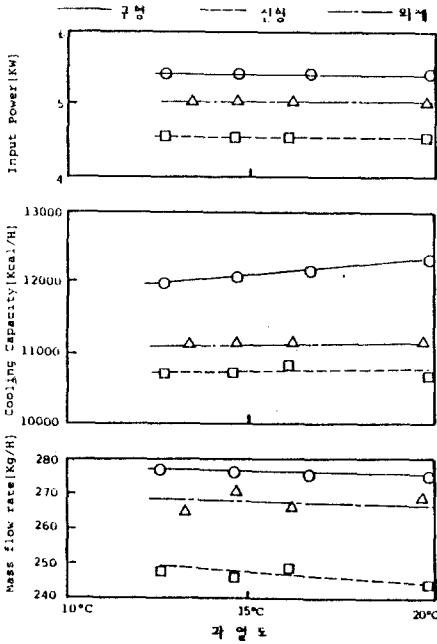


그림 3-a Standard Cond. 에서 과열도에 따른 m, Capacity, Power

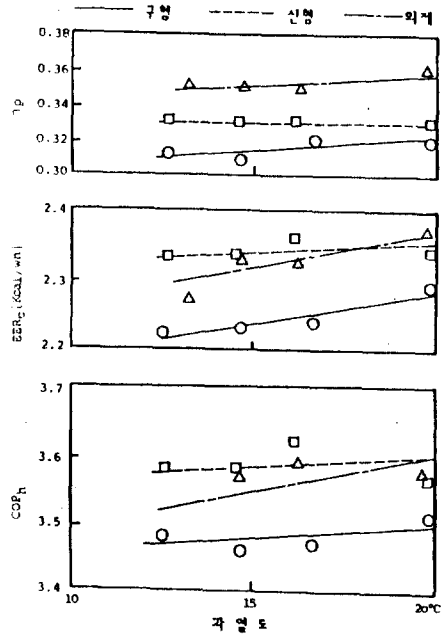


그림 4-a Standard Cond. 에서 과열도에 따른 COP<sub>h</sub>, EER<sub>c</sub>, η<sub>p</sub>

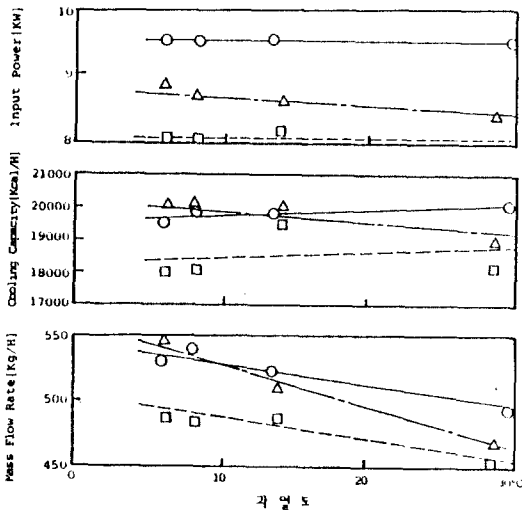


그림 3-b Normal Cond. 에서 과열도에 따른 m, Capacity, Power.

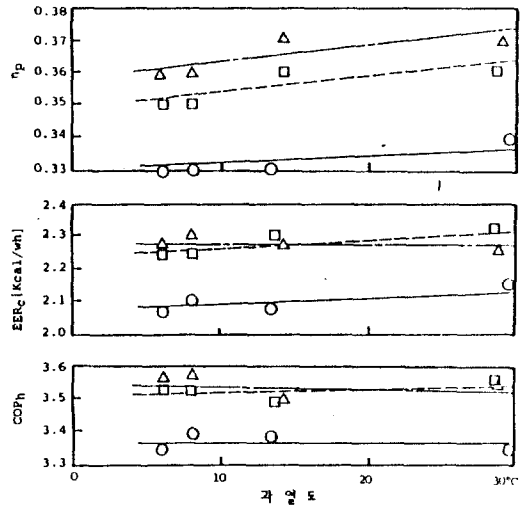


그림 4-b Normal Cond. 에서 과열도에 따른 COP<sub>h</sub>, EER<sub>c</sub>, η<sub>p</sub>

- ρ<sub>s</sub> : 흡입가스밀도
- m<sub>a</sub> : 실제유량
- E<sub>in</sub> : 실제입력
- Δh<sub>i</sub> : 가역단열과정의 엔탈피변화

$$\eta_p = \frac{m_a}{m_i} \times \frac{\Delta h_i}{\Delta h_a} \times \frac{m_a \Delta h_a}{W} \times \frac{W}{E_{in}}$$

$$= \eta_{ma} \times \eta_c \times \eta_m \times \eta_{motor}$$

= (유량효율)(단열압축효율)(기계효율)  
(전동기효율)

C. O. Ph, EER<sub>c</sub>, η<sub>p</sub> 는 다음의 그림 4 와 같다.



의해 난방 및 냉방사이클을 바꾸어도 증발기 또는 응축기로 사용이 가능토록 증발기 및 응축기 모두 관내에 냉매, 셀측에는 불이 흐르도록 하여 다관원통형 열교환기를 설치하는 것으로 하여 특성식을 구성하였으며, 증발기와 응축기가 난방조건과 냉방조건을 모두 만족할 수 있도록 전열면적을 계산할 수 있도록 하였다.

그림 5는 증발 및 응축조건에서 냉매의 특성과 열교환기의 전열면적을 계산할 수 있는 프로그램의 Flow chart를 나타낸 것으로 구체적인 특성식은 생략하였다.

### 3-2 성능예측결과

#### 가. 열원수 출구온도별 온수발생

열펌프의 가열량, 소비전력 및 성적계수 등은 운전조건에 따라 크게 변화한다. 따라서 냉매 R-500을 사용할 경우의 장치성능을 온도별로 예측하고 냉매 R-22에 의한 실험값과 비교 고찰하였다.

그림 6은 냉매 R-500을 이용하여 열원수 출구온도별 온수 출구온도에 따른 COP 관계를 나타낸 것이며 R-22의 경우는 실험에 의하여 구한 COP를 표시한 것으로, 같은 온도 조건에서는 R-500에 의한 경우가 큼을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 기존냉동기에 비해 냉매의 증발, 응축온도와 냉온수 출구온도와의 차를 작게하여 열교환기의 성능을 개선하는 것으로 하였기 때문으로 사료된다.

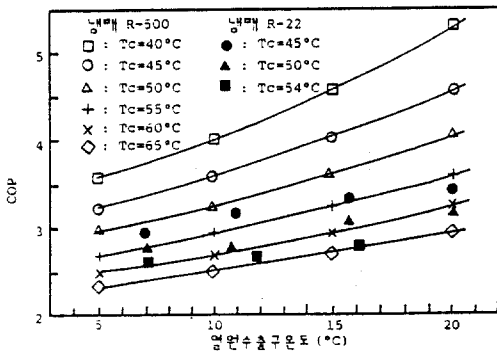


그림 6 냉매 R-500에 의한 열원수출구온도별 COP

그림 7은 압축기의 소비전력을 나타낸 것으로 R-500의 경우는 열원수 출구온도가 10°C일 때 온수출구온도 45°C이상에서 정격의 소비전력 9kw를 초과하는 것을 알 수 있다. 그리고 그림 8은 R-22을 사용했을 때의 냉매의 토출온도와 R-500에 의한 예측토출온도를 표시한 것으로 R-500의 경우 압축기 토출온도는 R-22에 비해 30°C~40°C 정도 낮은 것으로 나타났다. 본 연구에서는 냉매 R-500을 사용하는 경우는 열원수 출구온도 10°C에서 온수출구온도 60°C까지 얻는 것이 목표이었으며, 이러한 운전조건에서 소비전력은 9.8kw 정도로써 모터에 지나친 과부하가 예측되지도 않으며, 토출온도는 110°C로써 윤활유의 열화에도 별문제가 없을 것으로 예측된다.

그림 9는 가열량을 나타낸 것으로 냉매 R-22의 경우는 기존냉동기에 의한 실험값을 표

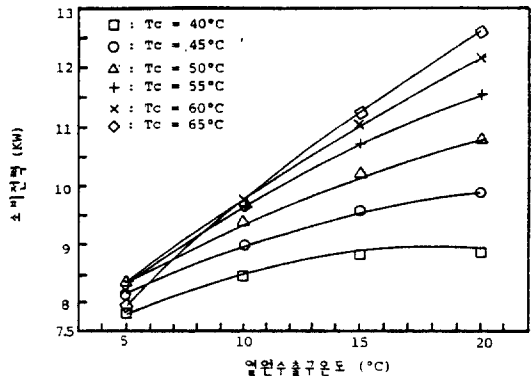


그림 7 냉매 R-500에 의한 열원수출구온도별 압축기 소비전력

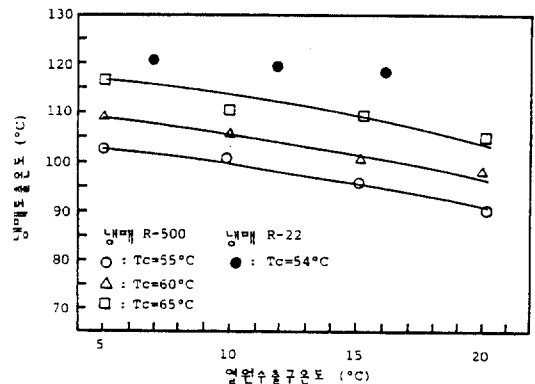


그림 8 열원수출구온도별 압축기토출냉매온도

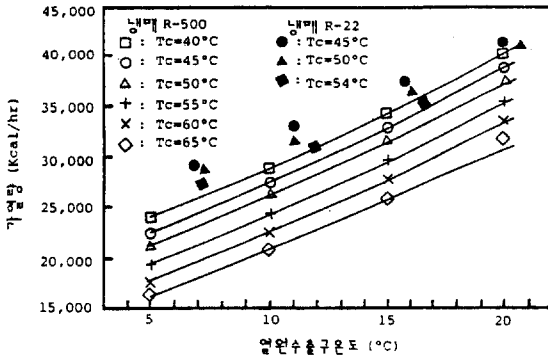


그림 9 열원수출구온도별 가열량

시한 것이다. 열원수 출구온도에 상관없이 R-22 쪽이 R-500 쪽보다는 가열량이 20% 정도 큰 것으로 나타났지만 실제로는 기존 냉동기에 의해 R-22 을 이용하여 50°C 이상의 온수를 얻는 것은 모터의 과부하로 사용이 불가능하므로 시스템의 개선 또는 부하는 감소하지만 냉매를 바꾸는 것이 바람직하다.

3-3 결론

열펌프의 사이클을 열교환기의 성능향상과 냉매 R-500 으로 교환하여 열펌프의 성능을 열원수 출구온도와 온수 출구온도에 따라 예측한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. 열펌프는 냉동기부품과 냉매를 대부분 그대로 사용하므로 열원수 출구온도가 10°C 이상으로 되면 압축기 모터에 과부하가 걸리므로 이와 같은 조건에서 장시간 운전하는 것은 내구성의 문제가 발생할 수 있으므로 냉매를 R-22 보다 고비점의 냉매 R-500 으로 교환하여 열원수 출구온도 10°C 에서 온수출구온도 65°C 을 얻을 수 있음을 알았다.

나. 본 예측결과에서는 R-22 용 7.5kw의 전밀폐형 압축기를 사용한 열펌프에서 냉매를 R-500 으로 교환하는 것으로 하여 65°C의 온수를 발생하는데 윤활유의 열화에 어떠한 영향도 없이 또한 모터에 과부하없이 운전할 수 있음을 알았다. 따라서 지하수를 이용한 건물용 냉난방을 위한 냉온수 발생 열펌프는 냉매 R-500 을 이용하고 사이클을 개선하므로써 가능하다 고 사료된다.

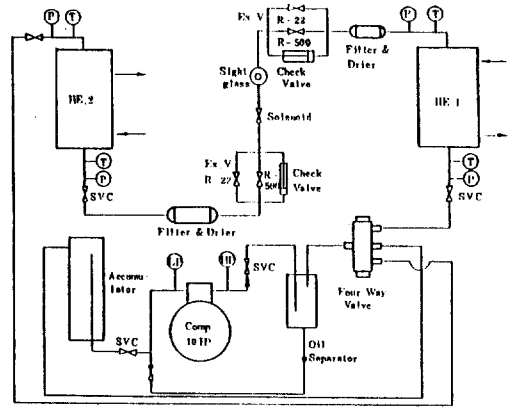


그림 10 열펌프 시스템의 개략도

이와 같은 예측결과에 의해 그림 10 과 같이 시스템을 구성하였다.

4. 온천수 승온용 히트펌프 시스템

4-1 실증실험장치 시스템

본 시스템에서의 압축기는 다른 압축기에 비해 소음이 적고 용량이 커질수록 설치면적이 작아도 되는 40 HP 스크류 압축기를 사용하고, 작동유체로서는 열원수 온도범위에 알맞은 냉매 R-12 를 사용하였다. 실증실험장치의 계통도는 그림 11 과 같다.

그림에서 보는바와 같이 열원수 및 온수는 일반적으로 30~35°C의 온천수를 사용하였다. 응축기를 통과하여 승온된 온수는 온수탱크에

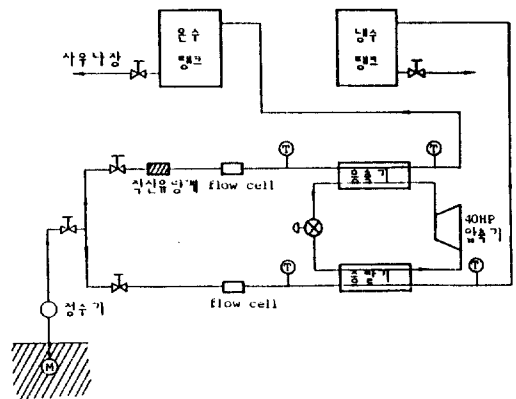


그림 11 온천수 승온용 히트펌프 시스템 계통도



저장하여 사우나장의 온수로서 사용하고, 증발기를 통과하여 감온된 열원수는 냉수탱크에 저장하여 냉수로서 사용하였다. 여기서 온수탱크는 심야에 가열한 온수를 보온하기 위해 유리섬유로서 단열처리하였다. 그리고, 열원수 및 온수유량은 Flow Cell을 증발기 및 응축기에 각각 설치하여 측정하고, 온도측정은 Chromel Alumel 열전대를 응축기 및 증발기 입·출구에 부착하여 Read Out Meter를 사용하였다. 또한, 압축기 소비동력은 측정비율이 5/300인 CT를 부착한 Watt Meter를 사용하여 측정하였다.

4-2 실증성능실험 결과

그림 12, 그림 13은 각각 실증실험장치의 실험결과로서 열원수 온도에 대한 냉각열량, 가열량, 소비동력 그리고 성적계수를 나타낸 것이다.

4-3 경제성 평가

표 3은 온천지역에 히트펌프를 설치하여 온도가 낮은 온천수를 승온시키는데 있어서 보일러를 사용하였을 때와의 경제성을 비교한 것이다. 여기서 보일러의 연료로서 경유를 사용하였을때는 시설비 회수기간이 보통 2.3년 걸리므로 경제성이 있다고 볼 수 있다.

4-4 결 론

온천수 승온용 히트펌프를 온천지역에 설치

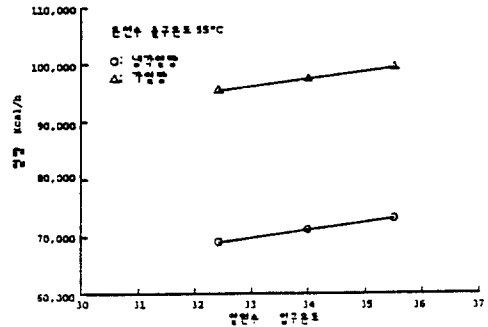


그림 12 열원수 입구온도와 냉각열량 및 가열량 관계

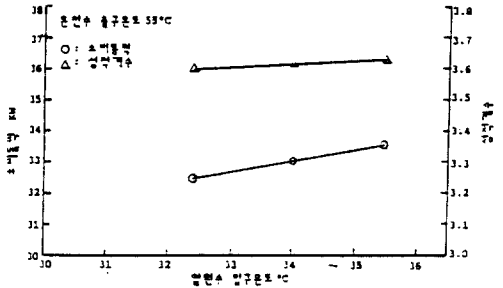


그림 13 열원수 입구온도의 성적계수 및 소비동력 관계

할 경우 보일러와 비교하여 약 2.3년이면 설치비를 회수할 수 있으므로 경제성이 있다. 경제성 이외에도 사용상 편리한 점과 온천지역은 휴양도시이므로 환경공해문제에 있어서는 전혀 공해가 없는 히트펌프가 상당히 유리하다고 볼 수 있다.

표 3 온천수 이용 히트펌프와 보일러 사용연료에 따른 경제성 비교

히트펌프 성적계수	보일러사용연료	전기요금 (원/kWh)	연간운전비절감액 (원/년)	시설비회수기간 (년)
3.63	BC-유	27.95	3,039,000	5.3
3.63	경유	27.95	6,844,000	2.3