

# 하천수를 이용한 교실 냉난방 열펌프 시스템의 기초연구

백승문 · 문춘근 · 윤정인<sup>†</sup> · 정석권\* · 박종운\*

(<sup>†</sup> 부경대학교 교육대학원 · \*부경대학교)

## A Fundamental Study on Heat Pump System for Classroom using River Water

Seung-Moon Baik, Choon-Geun Moon, Jung-In Yoon<sup>†</sup>, Seok-Kwon Jeong, Jong-Un Park

Department of Graduate School of Education School, Pukyong National University

(Received August 13, 2004 / Accepted November 24)

### Abstract

The current situation of heating and cooling system of the classrooms of our country is rather poor compared not only to those of the developed nation's classrooms but also in case of other buildings such as financial institutions, office compounds. In winter, especially students have been in hatred state with respect to their health due to the fact that the heater is operated by petroleum. Korea has been heavily dependent on foreign nations for the very fact of importing energy in the form of oil or natural gas. So it is important to conserve energy and the picture with respect to energy remains similar till today as it was in long past periods. The purpose of this study is to contribute actively in energy economy and facilitate towards a healthy school life of students and other institutions proving a system of extracting energy from river water and then converting it into heat which can stand as an effective alternate of expensive oil or gas. Installing oil-stove based heating system at classrooms of school could get considerable attention in several respects. The proposed heat energy could be collected unlimitedly both in time and in amount. The stable and uninterrupted heat energy from river water, optimally utilizing the typical-regional and geographical characteristics has the potential to be long-lasting in duration, cheap in energy economy and beneficial to health as well.

**Key Words:** Classroom, River Water, Heat Pump, Health, Economy

### Nomenclature

exp : 팽창밸브

sol v/v : 솔레노이드 밸브

HP : 마력

BHC(100) : 보일러 실험동 1m지점 센서온도

Ambient temp : 실험동 외부 대기온도

BH-in : 보일러 실험동 입구

BH-out : 보일러 실험동 출구

HH-in : 열펌프 실험동 입구

HH-out : 열펌프 실험동 출구

<sup>†</sup> Corresponding author : 051-620-1506, yoonji@pknu.ac.kr

\* 본 논문은 한국과학재단 지정 부경대학교 친환경첨단에너지기계연구센터의 지원에 의하여 연구됨. (과제번호 : R12-2003-001-01002-0)

## I. 서 론

우리나라 교실환경의 난방 시설은 국내 오피스텔, 금융기관 등의 타 건물에 비하여 상대적으로 매우 빈약한 수준에 머물러 있다. 특히 겨울철 난방을 석유난로에 의존하고 있어 학생들의 건강이 위협받고 있는 실정이다. 한 예로 경상북도 교육청에 따르면 각급 학교의 교실 2만8천633개 가운데 84.2%인 2만4천118개가 석유난로를 이용해 난방을 하고 있고, 학교별로는 초등학교 1만1천794개(85.7%), 중학교 5천128개(86.7%), 고등학교 6천993개(81.1%), 특수학교 203개(60.2%) 등이다. 이 때문에 이들 학교의 교사와 학생들은 '연통이 없는' 석유난로에서 배출되는 유해가스인 인한 두통을 호소하며 개선을 촉구하고 있다. 현재 보일러, 도시가스 등을 이용한 중앙집중식 난방교실이 일부 있으나 도시가스가 공급되지 않는 대부분의 농·어촌지역의 경우 석유난로에 대한 의존도가 매우 높은 실정이다. 또한 에너지 수입의존도가 높은 우리나라의 특성상 에너지 절약의 문제는 예나 지금이나 중요한 부분임을 간과할 수 없는 것이 현실이다.

본 연구에서는 시급한 학교 교실 난방 개선과 더불어 에너지 절약적인 차원과 특히 겨울철 현재 많이 사용하고 있는 석유난로를 대체할 만한 효율적인 것에 대한 연구를 실시하게 되었다. 현재 대부분의 학교 난방시스템으로 도입하고 있는 석유난로를 이용한 난방 연료인 비싼 경유를 대체할 수 있으며 장기 안정적 공급 및 경제적 측면에서 유리하며, 지역 및 지리적 특성을 충분히 활용할 수 있는 하천수로부터 안정적이고 무한정인 열에너지를 회수하여 학교 교실에 이용할 수 있는 시스템을 개발함으로써, 에너지 절약 및 학생들의 건강한 학교생활에 기여되는 것을 목표로 한다.

이번 연구는 냉동일반과목을 배우는 학생들에게 열펌프 시스템에 관한 이해를 높이고자 교과서에 기술된 열역학 이론을 바탕으로 하는 열펌

프 이론의 응용과 화석에너지와 자연에너지를 사용했을 때의 비교를 통하여 학생들에게 에너지원의 장단점을 비교 검토해볼 수 있는 기회를 제공하며, 또한 에너지 절약에 대해 상기시켜 줄 수 있도록 하였다.

## II. 실험장치 및 방법

열펌프 시스템은 크게 압축기, 열원회수용 증발기, 팽창밸브, 셀엔튜브식 응축기, 냉매저장용 수액기, 장치 운전시 필요한 컨트롤 패널, 열원수 및 온수 공급용 펌프 배관으로 구성되어 있다.

열펌프 시스템에 사용된 압축기는(모델명: HG3/235-4S) 약 5HP 정도의 반밀폐식이며, 설계조건은 열원수 온도를 5℃를 기준으로 냉매의 증발온도를 -5℃, 응축온도 약 50℃를 기준으로 압축기의 능력을 선정하였다. 온수 공급용 응축기는 열교환 효율이 높고, 설치 공간을 적게 차지하는 셀엔튜브식으로 응축온도 50℃를 기준으로 설계하였다. 하천수로부터 열원을 회수할 증발기도 하천수의 수질을 고려하여 셀엔튜브식을 사용하였다. 증발기의 설계조건은 하천수 겨울철 최저 온도를 약 5℃로 기준하고, 냉매의 증발온도를 약 -5℃를 기준으로 설계하였다.

실내 온도와 외기 온도차에 의한 부하에 대응하여 열펌프가 자동 운전하도록 하기 위하여 각종 컨트롤 시스템을 구성하였다. 실내 온도를 감지하여 순환펌프를 자동으로 운전하기 위해서 실내에 온도 감지 센서를 두었으며, 실내에 공급되는 온수는 열펌프 장치에 의해 승온되어 먼저 축열수조에 저장되고, 실내에서 감지한 온도에 의해 일정 온도로서 실내로 공급되도록 온수 공급 배관에 전자밸브를 설치하였다. 이때 수조의 초기 부하를 감당하기 위해 전열히터를 수조내에 설치하였다. 이러한 전자밸브, 전열히터, 순환펌프 및 열펌프의 작동을 제어하기 위해 컨트롤 박스를 제작하였다. 실내로 공급되는 온수의 유량과 낙동강에서 공급되는 유량을 측정하기 위해서 플로트

식 수유량계를 설치하였으며, 배관 및 열펌프 시스템의 각 부분에 흐르는 유체의 온도를 측정하기 위해 씨스타입 온도센서를 설치하였고 다점 온도 측정기로서 데이터를 PC로 저장하였다. 또한 운전중 열펌프 시스템의 이상유무와 정상운전 상태를 점검하기 위해 압력계이지, 고저압 차단밸브를 설치하였다.

본 시스템에서는 열펌프 운전시와 기존의 온수 공급 보일러 시스템과의 시스템 특성을 비교 검토할 수 있도록 기존의 온수 공급용 보일러 시스템도 동시에 설치하였다. 시스템에 사용된 온수 공급용 보일러는 용량 13,000kcal/h의 경유 보일러를 설치하였다.

실내에 설치될 방열관은 파이프 외부에 흰이 부착된 열교환기 방열관을 사용하였다. 그림 1은 본 연구에서 사용된 전체 열펌프 시스템 실물사진을 나타낸 것이다. 그리고 그림 2는 본 연구의 실험 장치도를 나타낸 것이다.

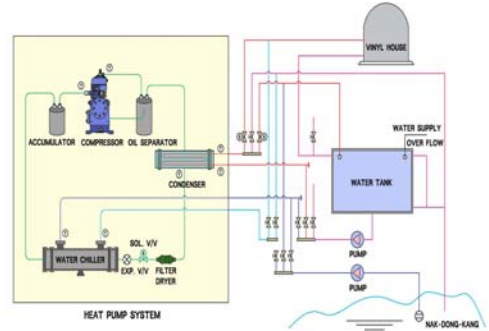


[그림 1] 전체 열펌프 시스템 실물사진

실험은 겨울철 1~2월 두달 동안 실시하였으며, 실험장소로 정한 낙동강 주변의 겨울철 평균 기온이 우리나라 겨울철 평균기온에 비하여 높은 관계로 실험 시간은 오후 6시부터 익일 아침 8시까지로 하였다.

그러나 1월 초순경에는 시스템의 액압축 현상과 오일부족에 의해서 정확한 데이터를 획득하지

못하였으나, 시스템의 보완으로 이러한 문제점을 해결하였다. 실험시간은 실험준비 및 조건이 맞지 않는 경우도 있어서 오후 6시보다 약간 늦게 시작하기도 하였다.



[그림 2] 실험 장치도

실내로 공급되는 온수의 유량(응축기 유량)과 낙동강에서 공급하는 유량(증발기 유량)은 플로트식 수유량계를 설치하였으며, 배관 및 열펌프 시스템의 각 부분에 흐르는 유체의 온도를 측정하기 위해 씨스형 온도센서를 설치하였으며, 측정된 데이터는 데이터 로그와 컴퓨터를 통하여 실험시간동안 연속적으로 3분 간격으로 기록하였다. 그리고 압축기의 소비전력은 적산전력계를 이용하여 매시간 실측하였다.

보일러 실내 실험은 열펌프 실험동 실험 개시 시간을 같게 하여 실내 온도분포와 기름 보일러의 기름 소비량을 측정하였다.

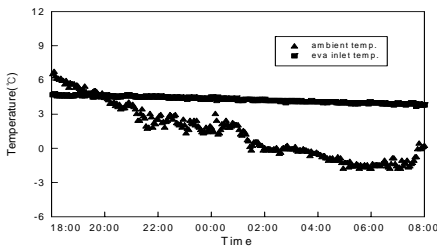
본 실험에서 열펌프 실내 난방실험은 다음의 2가지 타입으로 나누어 실행하였다. 첫째, 열펌프만 가동하여 실험동을 난방 하는 경우, 둘째, 축열조의 수온을 각각 35, 40℃로 설정하여 실험동 난방을 하는 경우로 실험을 하였다.

### III. 실험결과 및 고찰

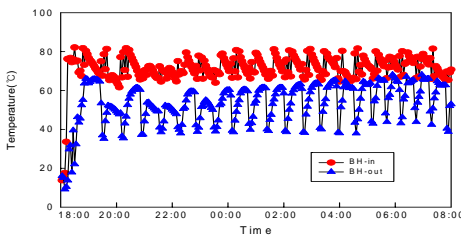
#### 1. 열펌프만 가동한 경우

그림 3은 외기온과 증발기 입구수온 즉 하천수

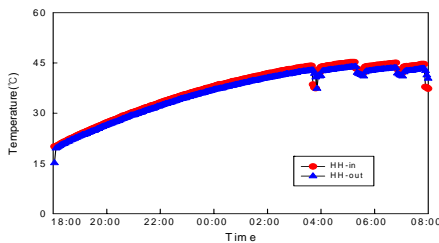
수온의 변화를 나타내었다. 외기온은  $-1.8\sim 6.5^{\circ}\text{C}$ 의 범위를 가지면 시간이 지나면서 완만하게 하강하다가 일출이 되기 전부터 약간 외기온이 상승함을 볼 수 있었으며, 하천수온은  $3.8\sim 4.7^{\circ}\text{C}$ 의 변화를 보였으나 하천수에서 흡입하는 펌프에서 실험장치가 있는 컨테이너까지 약 40m 정도로 이 거리에서 약  $0.5^{\circ}\text{C}\sim 1^{\circ}\text{C}$  정도 온도 강하가 되었으리라 생각된다.



[그림 3] 외기온과 하천수온의 변화



(a) 보일러 실험동 입출구 수온변화

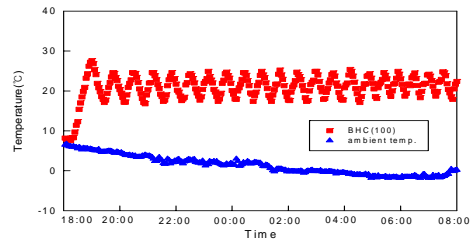


(b) 열펌프 실험동 입출구 수온 변화

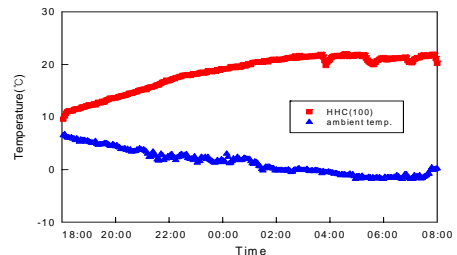
[그림 4] 실험동 입출구 수온의 변화

그림 4의 (a)는 보일러 실험동 입출구 수온의 변화를 나타낸 것이고 (b)는 열펌프 실험동 입출

구 수온의 변화를 나타낸 것이다. (a)는 보일러가 보일러 실험동내 온도에 따라 on-off 되고 약  $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ 의 온수를 공급한 후 펌프의 가동이 중단 됨으로써 실험동 입구 및 출구의 수온 변화가 큼을 나타내고 있다. (b)는 실험동내 온도가 설정온도보다 낮을 때는 계속 열펌프가 가동되면서 실험동을 가온하지만 설정온도에 도달하면 off가 된다. 하지만 열펌프는 실험동의 실온에 응답을 빨리하여 수온의 변화가 증가하다가 완만한 안정성을 가지고 있다.



(a) 보일러 실험동 중앙과 외기온의 온도변화



(b) 열펌프 실험동 중앙과 외기온의 온도변화

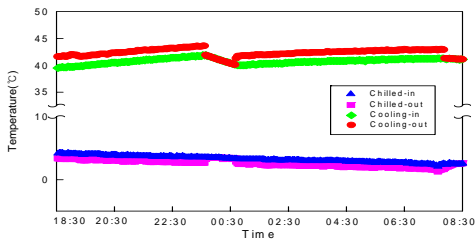
[그림 5] 실험동 중앙과 외기온의 온도변화

그림 5는 실험동 중앙(지면에서 높이가 1m)에서의 온도와 외기온의 변화를 나타내었다. (a)는 보일러 실험동내 온도와 외기온의 변화를 나타낸 것이다. 외기온은 약  $-6^{\circ}\text{C}\sim -1^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서 완만히 감소하고 실험동내 온도는 전술한 바와 같이 보일러의 on-off의 시간간격이 커서 변화가  $5\sim 6^{\circ}\text{C}$  정도의 변화 폭을 가진다. 이러한 외기온과 실험동내 온도의 차는 최대  $25.9^{\circ}\text{C}$  이고 최저 온도차

는 10.3°C이다. (b)는 열펌프 실험동 온도와 외기의 변화를 나타낸 것이다. 실험동 온도가 20°C가 될 때까지 증가하다가 20°C 부근에서 안정된 실험동의 온도를 나타내고 있다.

## 2. 축열조를 40°C로 설정한 경우

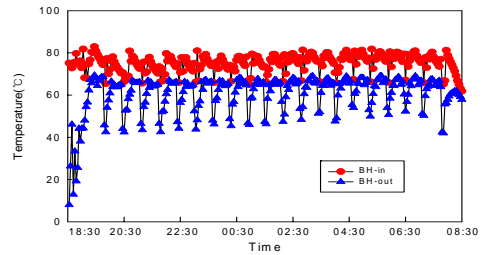
그림 6은 실험시간동안 증발기 및 응축기의 유출입 순환수의 수온변화를 나타낸 것이다. 응축기 입구 수온 40°C에서 시작하여 온실을 20°C로 유지하기 위해서 열펌프가 약 12시 경까지 계속 가동되어 온실 온도를 맞추후 가동이 중단되었다. 그후 온실의 온도가 낮아지면서 다시 열펌프가 가동되면서 온실을 가온하였다. 증발기 입구 수온은 2.5~4.2°C의 범위를 가지고 있었으며 외기온이 낮아짐에 따라 수온은 완만하게 감소하였다. 증발기 출구 수온은 1.3~3.4°C로 겨울철 열펌프에서 출구 수온이 0°C 이하일 때 일어날 수 있는 동파의 문제는 없는 것으로 나타났다.



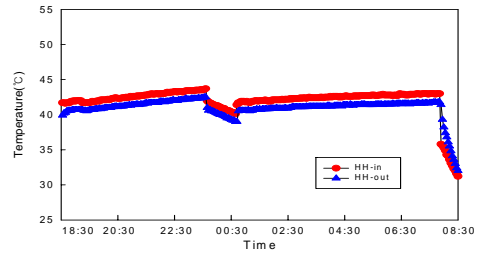
[그림 6] 응축기 및 증발기의 순환수 온도분포

그림 7에서 (a)는 보일러 실험동 입출구 수온의 변화를 나타낸 것이고, (b)는 히트퍼프 실험동 입출구 수온의 변화를 나타낸 것이다. (a)에서 보일러 실험동 온실내 설정 실온에 따라 on-off 되고 약 60~80°C의 온수를 공급한 후 펌프의 가동이 중단되므로 보일러가 가동될 때는 실험동 입구쪽 수온은 상승을 하면서 출구쪽 수온도 상승하다가 보일러가 정지되면 펌프의 가동이 중단되므로 출구쪽 수온도 일정하게 측정된다. (b)에서 열펌프는 열펌프 실험동의 설정 온도인 20°C에 도달할

때까지 가동되다가 밤 12시경 설정온도에 도달하여 정지되었고 밤 12시 40분경부터 다시 가동되었다. 그리고 아침 7시 30분경에는 열펌프가 정지되었다.



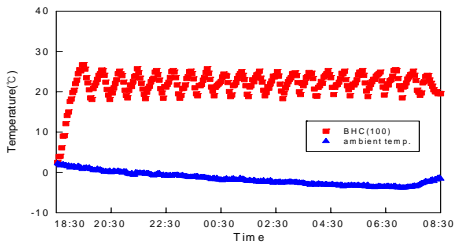
(a) 보일러 실험동 입출구 수온변화



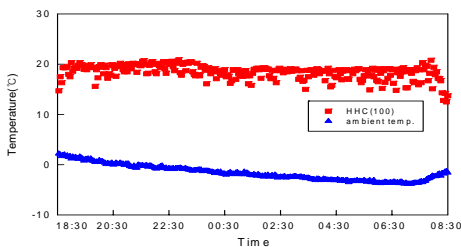
(b) 열펌프 실험동 입출구 수온 변화

[그림 7] 실험동 입출구 수온의 변화

그림 8은 실험동 중앙에서의 온실 온도와 외기온의 변화를 나타내었다. (a)는 보일러 실험동내 온도와 외기온의 변화를 나타낸 것으로 실험동내 온도는 26.7°C에서 최저 18.1°C 범위내에서 변화한다. 이는 보일러의 on-off의 시간간격 때문인 것으로 off가 될 때는 보일러의 펌프가 가동하지 않는다. 외기온은 2.2°C에서 시간이 지남에 따라 -3.8°C까지 감소하다가 오전 7시경부터 외기온이 상승한다. (b)는 열펌프 실험동 온도와 외기온의 변화를 나타낸 것이다. 실험동 온도는 실험시간동안 20°C로 일정하게 유지됨을 볼 수 있었으며, 외기온과의 최대 온도차는 23.8°C이다.



(a) 보일러 실험동의 중앙과 외기온의 온도변화



(b) 열펌프 실험동 중앙과 외기온의 온도변화

<그림 8> 실험동 중앙과 외기온의 온도변화

#### IV. 결 론

하천수 근처에 위치한 학교교실에 대하여 직접적인 실험을 할 수 없는 관계로 학교 교실을 대체할만한 실험동에 하천수 이용 열펌프 및 기존 기름보일러를 이용하여 난방시스템의 적용성 및 최적화를 위한 실증시험을 거친 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 학교교실에 사용되고 있는 석유난로에서 발생하는 유해가스가 전혀 없는 하천수를 이용한 열펌프 시스템의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.
2. 열펌프 실험동은 약 40°C 온수를 공급하였을 때 실험 실험동 내부 온도가 20°C 정도를 유지할 수 있었으며 거의 일정하게 나타나는 조건임을 확인할 수 있었다.

3. 하천수 이용 열펌프 난방 시스템을 설계, 제작, 실험하여 겨울철 난방으로의 효율 가능성을 얻을 수 있었다.

#### 참고 문헌

- 최병윤, 축열식 열펌프 시스템 적용사례, 공기조화·냉동공학, Vol.22, No.2, pp.87~100, 1993.
- 박일환, 공조용 증기 압축식 열펌프, 공기조화·냉동공학, Vol.18, No.4, pp.347~357, 1989.
- 박일환, 열펌프를 이용한 폐열회수, 에너지관리공단 폐열회수시스템 실무기술, 1988.
- 김민수·김동섭·원성필·노승탁, 혼합냉매를 사용한 열펌프의 성능해석, 공기조화·냉동공학, Vol.2, No.3, pp.218~225, 1990.
- 이영수·김남국, 열펌프 시스템에서 각종 설계인자들에 따른 응축기의 최적설계에 대한 연구, Vol.17, No.4, pp.408~417, 1988.
- 임태우·박종운·김준효, 균일하게 가열되는 수평전달관내 냉매의 유동비 등 열전달과 압력강하 특성에 관한연구, 수산해양교육연구, 14(2), pp.129~148, 2002.
- 산업자원부, 도시 미활용에너지 이용 열펌프 시스템 개발에 관한 최종보고서 1997.
- 최광환·윤정인, 태양열을 이용하는 냉방 및 냉동시스템 개발에 관한 고찰, 냉동공조공학, Vol.16, No.4, pp.215~223, 1998.
- 이석건, 고효율 환경조절 및 에너지 절약형 온실구조의 최적설계, 농림부, 1998.
- 윤정인·김재돌, 냉동공학, 문운당, 2000.
- 윤정인·양영명·설원실·김재돌, 에너지시스템, 태훈출판사, 1999.
- W. F. Stoecker, J. W. Jones, Refrigeration and Air Conditioning, McGraw-Hill, 1992.