공학석사 학위논문

진동 세관형 히트 파이프를 이용한 바닥 난방의 성능에 관한 연구

2002년 2월

부경대학교 대학원

냉동공조공학과

고 성 복

공학석사 학위논문

진동 세관형 히트 파이프를 이용한 바닥 난방의 성능에 관한 연구

지도교수 김 종 수

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2002년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

냉동공조공학과

고 성 복

고 성 복의 공학석사 학위논문을 인준함

2002년 12월

주	심	공학박사	김 은 필 (인)
위	원	공학박사	오 후 규 (인)
위	원	공학박사	김 종 수 (인)

목 차

Study on performance of under-floor heating system using oscillating capillary tube heat pipe

Sung-Bok Ko

Department of Refrigeration and Air-conditioning Engineering,
Graduate school,
Pukyong National University

ABSTRACT

The performance of under-floor heating system using oscillating capillary tube heat pipe(OCHP) has been investigated and it was compared with the XL Pipe type. Two types test of under-floor heating system were conducted : The first one was the test of the panel type under-floor heating system using XL Pipe and OCHP. The second one was the test of XL Pipe type and OCHP type which were applied to the real house(LG Metrocity apartment).

The first test was conducted under the next conditions : Working fluid was R-141b, charging ratios were 30%, 40% and 50%, Inlet water

temperatures were 50℃, 60℃ and 70℃, flow rates of water were 60kg/h, 90kg/h, 120kg/h and 200kg/h.

The second test was conducted during the transient state and the steady state. In OCHP type, the charging ratio was taken to 40% according to the results of the panel type test.

The experimental results of the first test are as follows : OCHP type under-floor heating system was faster than XL Pipe type from a point of view of thermal response and OCHP which was charged 40% showed better performance than OCHP which were charged 30% and 50% on the under-floor heating system.

The experimental results of the second test are as follows : OCHP type under-floor heating system was reached rapidly to 35℃ of floor temperature than XL Pipe type, but the temperature was dropped rapidly than XL Pipe type. OCHP type showed smaller flow rate, wattage and gas consumption than those of XL Pipe type. When OCHP type under-floor heating system is applied to the house instead of the XL Pipe type, the LPG cost will save about 30%.

Nomenclature

A	Panel or Floor area	[m^2]
C_p	Specific heat	[J/kg・K]
m	Mass flow rate	[kg/s]
q"	Heat flux	[W/m^2]
T	Temperature	[℃]

Subscripts

i	Inlet
o	Outlet
w	Water

1. 서 론

1.1 연구의 배경

주택의 난방은 동서양이 차이를 보이는데 특히, 우리나라는 전통적으로 바닥 난방 방식을 이용해 왔다. 바닥 난방은 별도의 방열기가 필요 없고, 소음이나 먼지의 발생이 없고, 다른 난방 방식에 비해 낮은 실온에서도 충분한 난방감을 얻을 수 있으며, 실내의 상하 온도가 균일하다는 장점이 있는 쾌적한 난방 방식이다.

기존의 난방 방식은 보일러 등의 가열기로부터 온수나 증기를 공급받아 이를 방바닥에 매설된 동관이나 XL Pipe 등의 내부로 통과시켜 난방을 하게 된다. 따라서, 난방을 위해 바닥 전체에 일정한 간격으로 배관이 설치되어야 하며, 그 배관내 체적 만큼의 관수량과 이를 데우기 위한 난방비가 요구된다. 또한, 난방관이 지나가는 곳과 지나가지 않는 곳과의 온도차가 심해 열골 현상이 발생한다.

연중 5 6개월 동안 난방을 해야 하고, 또 그 에너지의 대부분을 석유로부터 충당하고 있는 우리나라의 현실을 고려할 때, 이러한 전열관의 전열 효율을 높이고, 관수량과 난방비를 줄일 수 있다면 에너지 절감에 따른 경제적인 효과는 대단히 클 것이다.

이러한 이유에서 국내에서는 1990년대 초부터 열적 응답성이 뛰어난 히트파이프를 바닥 난방에 적용해 보려는 시도가 진행되었다. 히트 파이프[(1),(2)]는 충전되는 작동 유체의 증발과 응축을 통해 발생하는 잠열의 형태로 열을 수송하는 전열 장치이다. 이중 진동 세관형 히트 파이프는 1990년대에 들어와 일본의 Akachi[(3)]에 의해 개발되었으며, 내부에 윅(wick)을 필요로 하지 않기 때문

에 형상의 자유로운 변화가 가능하고, 저비용으로 제작이 가능한 장점이 있으며, 최근에 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 히트 파이프, 특히 진동 세관형 히트 파이프를 바닥 난방에 적용할 경우 기존의 바닥 난방 방식보다 온수가 통과하는 전열관의 길이가 짧아져서 그에 따른 순환 수량이 줄어들고, 히트 파이프의 간격이 기존의 전열관(XL Pipe)의 간격보다 조밀하므로 바닥의 온도 분포가 균일하여 기존의 바닥 난방에서 문제가 되었던 열골현상이 줄어든다는 장점이 있다. 그러나 아직도 그 연구는 매우 부족한 상태이며, 특히 진동 세관형 히트파이프를 바닥 난방에 적용하려는 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 진동 세관형 히트 파이프를 바닥 난방에 적용시켜 내부의 작동 유체 봉입량에 따른 최적의 작동 조건 및 성능을 평가하고, 기존의 XL Pipe형 바닥 난방 방식과 함께 실제 주택에 적용하여 그 성능 및 특성을 비교·분석하고자 한다.

1.2 종래의 연구

1.2.1 히트 파이프의 바닥 난방 적용에 대한 연구

히트 파이프를 이용한 바닥 난방에 대한 연구는 아직도 부족하며, 그 연구 중 대부분이 바닥에 설치할 때 작동액의 원활한 순환을 위하여 히트 파이프에 경사를 주어 시공이 불편한 내부에 윅(wick)이 있는 윅형 히트 파이프를 이용한 것이고, 진동 세관형 히트 파이프를 이용한 연구는 전무한 실정이다.

산업 기술 시험 평가연구소[4]에서는 2.0×2.0×2.0m의 두 개의 난방 공간에 내부에 윅이 있는 히트 파이프를 이용한 난방 방식과 기존의 XL Pipe형 난방 방식을 설치하여 그 성능을 비교하여, 기존 XL Pipe형 난방 방식보다 전력 소비량, 연료 소비량이 적다고 보고하였다.

영남대학교 공과대학 부설 공업 기술 연구소[5]에서도 윅형 히트 파이프를 이용한 바닥 난방 시스템에 대해 성능을 분석하여, 하루 8시간 난방을 기준으로 기존의 난방 방식인 동관 시스템보다 약 20% 정도의 에너지 절감 효과가 나타난다고 보고하였다.

한국건설기술원[6]은 직경 16mm, 두께 2mm의 알루미늄 합금 용기에 작동유체를 Acetone으로 하여 내용적의 2%로 주입한 히트파이프를 설치 경사각을 7/1000로 하는 조립식 온돌 패널에서의 성능에 대한 실험을 통해, 온수 순환 방식에 비해 온수 수송 동력과 관수량의 감소로 난방 예열 부하를 줄일 수 있어 시스템의 효율을 높일 수 있다고 하였다.

김철주 등[7]은 열사이폰을 이용한 난방 장치의 최적 설계의 핵심이 되는 몇 가지 주요 요소(히트 파이프 내부 비등, 응축 열전달, 온수와 히트 파이프 사이의 대류열전달)들에 대해 수학적 열전달 해석을 수행하였다.

1.2.2 진동 세관형 히트 파이프의 원리

진동 세관형 히트 파이프는 윅(wick)에 의한 증발부로의 작동액 환원 없이, 유체의 진동에 의해 열을 수송하는 열전달 기구로, 구조는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이, 간단히 세관을 사행(serpentine)시킨 밀폐 구조로서, 진공 상태로 만든 후 임의의 비율로 작동 유체를 충전시킨 매우 단순한 구조로 되어 있다.

기본적인 작동은 작동액 및 증기포의 불규칙적인 루프내 순환 또는 축방향 진동에 의한 것이며, 가열부에 주어진 열량 만큼의 핵비등을 일으키고, 핵비등에 의해 발생된 기포는 합쳐진 후 기액 슬러그류의 형태로 된다. 슬러그류는 압력파를 발생시킴과 동시에 축방향 진동을 동반하는 유동으로 되어 순환하고, 증기의 기포가 대류 열전달과 잠열 수송을 한다.

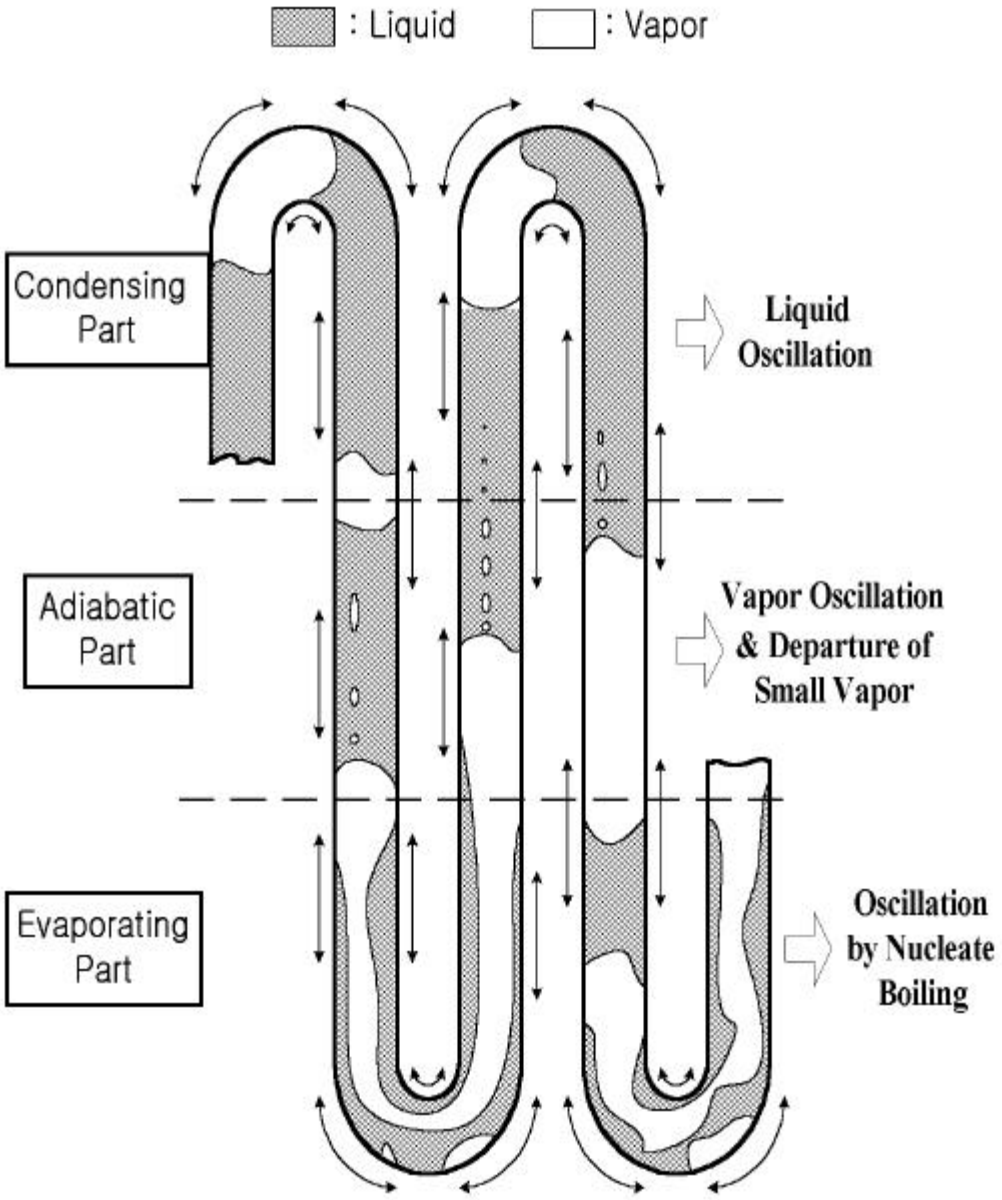


Fig. 1 Basic concept of oscillating capillary heat pipe.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 패널형 바닥 난방 실험

2.1.1 실험 장치

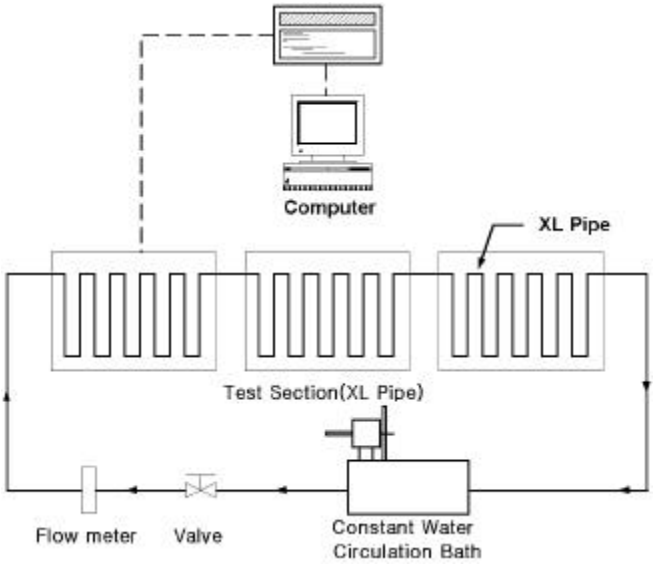
본 연구에서는 우선 XL Pipe와 진동 세관형 히트 파이프(이하 OCHP)를 이용한 바닥 난방용 패널을 각각 제작하여 작동 특성 및 최적의 작동 조건을 파악하였다. 실험 장치는 Fig. 2와 같이 XL Pipe와 OCHP가 부착된 패널로 이루어진 시험부와 시험부로 공급되는 온수의 유량과 온도를 조절하기 위한 순환부 및 데이터 계측부로 구성되어 있다.

XL Pipe로 제작된 시험부는 외경 19mm, 내경 15mm의 XL Pipe를 이용해 피치를 200mm로 하여 1.8×0.8m의 패널(아연 도금 강판)에 부착시켜 총 3개의 패널을 직렬로 연결하였다. OCHP로 제작된 시험부는 Fig. 3, Fig. 4와 같이 양옆에 외경 4.0mm, 내경 3.1mm인 OCHP의 증발부가 삽입되어 전열 면적을 넓힐 수 있도록 홈이 파진 사각형의 수배관용 동관을 제작하여, 그 홈에 양쪽 각각 피치가 100mm, 길이가 350mm인 9턴(18단)의 OCHP를 루프형으로 제작하여 사각형 수배관의 홈에 삽입 후, 납으로 용접하였다. OCHP는 작동 유체를 충전하기에 앞서, 내부를 로터리 펌프(RP)와 디퓨져 펌프(DP)로 이루어진 고진공 시프템으로 5.0×10^{-5}torr까지 진공시켰고, 작동액의 충전에는 냉매 충전 실린더를 사용하여 작동 유체인 R-141b를 봉입하였다. 이렇게 제작된 OCHP는 Photo. 1과 같이 1.8×0.8m의 패널(아연 도금 강판)에 부착시켜 총 3장의 패널을 직렬로 연결하였다.

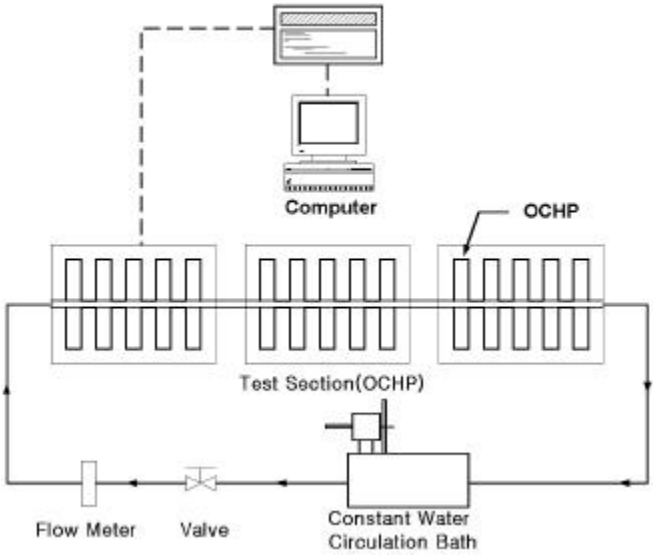
순환부는 XL Pipe 및 OCHP의 가열부에 온수로 열량을 공급하기 위한 항온

순환 수조, 유량 조절을 위한 밸브, 그리고 유량의 측정을 위한 유량계로 이루어져있다.

데이터 계측부는 열전대로부터 얻어진 데이터의 처리를 위한 YOKOGAWA 사의 DR230 계측 시스템과 컴퓨터로 구성하였다.

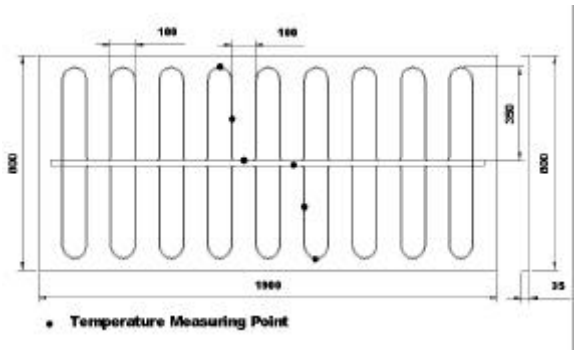


(a) XL Pipe Type



(b) OCHP Type

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus.



(a) Front view

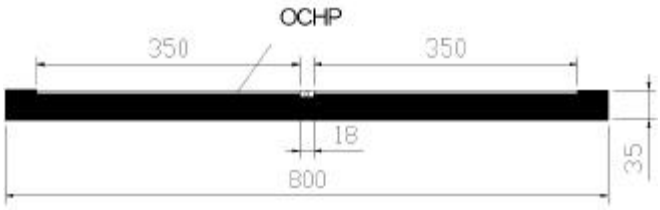


Fig. 3 Schematic diagram of test section.

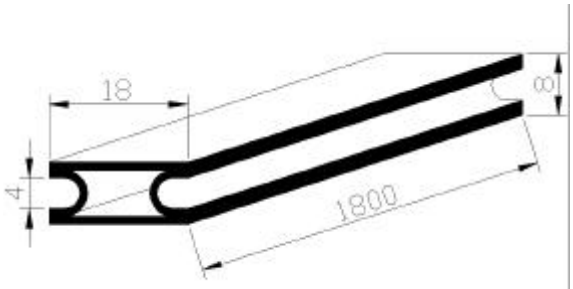
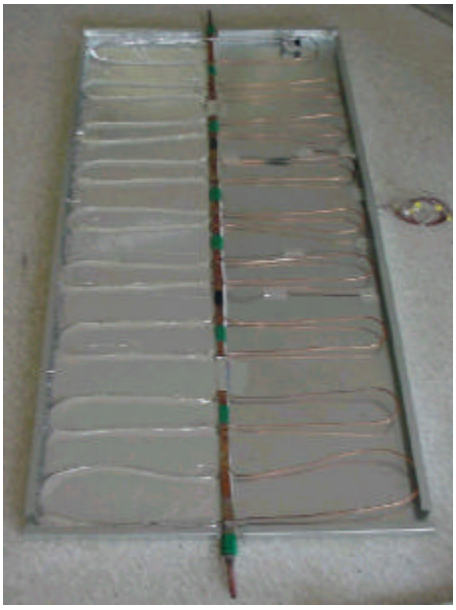


Fig. 4 Schematic diagram of hot water pipe line.

(a) XL Pipe Type



(b) OCHP Type

Photo. 1 Photograph of pannel type test section.

2.1.2 실험 방법

온수의 입·출구 온도를 측정하기 위해 패널의 입·출구 측에 T형 열전대를 1개씩 부착하였고, OCHP의 표면 온도를 측정하기 위해 수배관에 접촉하고 있는 OCHP 표면과 말단부, 그리고 양끝으로부터 중간 위치에 T형 열전대를 각 패널에 6개씩, 총 18개를 부착하였다. 또한, 패널 표면의 온도를 측정하기 위해 T형 열전대를 XL Pipe형 패널과 OCHP형 패널에서 전열관과 접하지 않은 패널의 표면에 2개씩, 총 6개를 부착하였다(Fig. 3(a) 참조). 시험부의 하단부는 외부로의 열손실을 막기 위해 단열재로 충분히 단열하였다. 열전대로부터 얻어진 데이터의 처리는 YOKOGAWA사의 DR230 계측 시스템과 컴퓨터를 이용하여, 2초 간격으로 10분간 데이터를 검출하여 컴퓨터로 처리하였다.

OCHP형 바닥 난방의 온수 순환은 항온 순환 수조를 이용하여 온수의 온도를 50℃, 60℃, 70℃로 일정하게 유지시킨 상태에서 각각에 대해 유량을 60kg/h, 90kg/h, 120kg/h, 150kg/h, 200kg/h로 조절하였다. OCHP 내부의 작동유체 봉입량에 대한 영향을 알아보기 위해 내부 봉입량을 30%, 40%, 50%로 하였으며, 작동 유체는 R-141b로 선정하였다.

2.2 바닥 난방의 실제 주택 적용 실험

2.2.1 실험 장치

본 연구에서는 앞에서 이루어진 기본적인 성능 실험을 토대로 OCHP형 바닥 난방 방식과 기존의 XL Pipe형 바닥 난방 방식을 실제 주택에 적용하여 두 난방 방식의 성능을 비교·분석하였다. 설치 장소는 부산광역시 남구 용호동에 위치한 LG 메트로시티이며, Fig. 5, Photo. 2와 같이 32평형 2세대에 각각 XL Pipe형 바닥 난방 방식과 OCHP형 바닥 난방 방식으로 시공하였다.

실험 장치는 XL Pipe와 OCHP가 매설되어 있는 시험부와 시험부로 공급되는 온수를 제어하는 가스 보일러로 이루어진 순환부 및 데이터 계측부로 구성되어 있다.

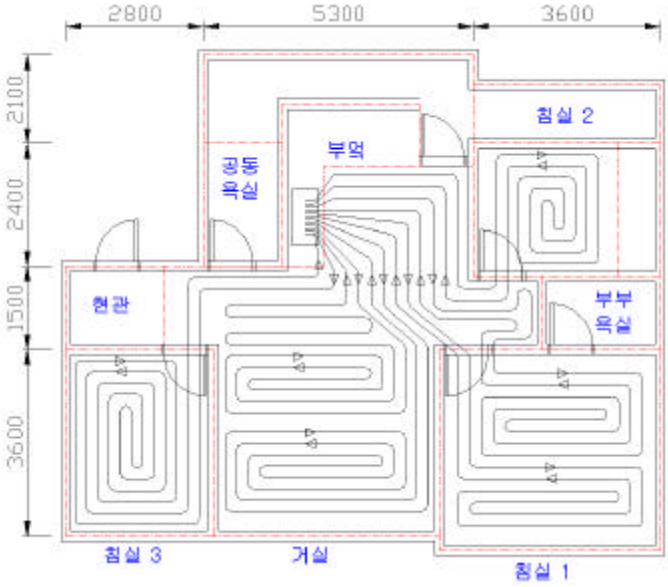
시험부에서 XL Pipe형 바닥 난방의 온수 배관은 건설부 고시 제 396호, "온수 온돌 시공 기준"에서 제시하고 있는 범위 내에서 내경 15mm, 외경 19mm의 XL Pipe로 250mm 간격으로 설치하였으며, 축열층은 XL Pipe 위로 약 2cm가 덮이도록, 즉 총 두께가 약 4cm가 되도록 마감 몰탈로 처리하였다. OCHP형 바닥 난방에서는 앞서 수행한 패널 형식의 바닥 난방 실험에서 내부 봉입량이 40%인 경우가 최고의 성능을 나타내었으므로, 내부 봉입량을 40%로 하여 총 23장의 바닥 난방용 OCHP를 제작하여 매설하였다. 축열층은 마감 몰탈하여 OCHP로부터 2cm의 두께로 처리하였다. XL Pipe형 바닥 난방에 비해 마감 몰탈 전체의 체적은 1/2로 줄었으나, 전열관 전체의 체적은 약 1/18로 줄었으므로, 축열층의 감소로 인한 영향은 무시할 수 있다.

기존의 히트 파이프를 바닥 난방에 적용하기 위해서는 작동액의 원활한 순환을 위해 수평 상태에서 어느 정도 구배를 주었으나, OCHP의 경우 수평 상

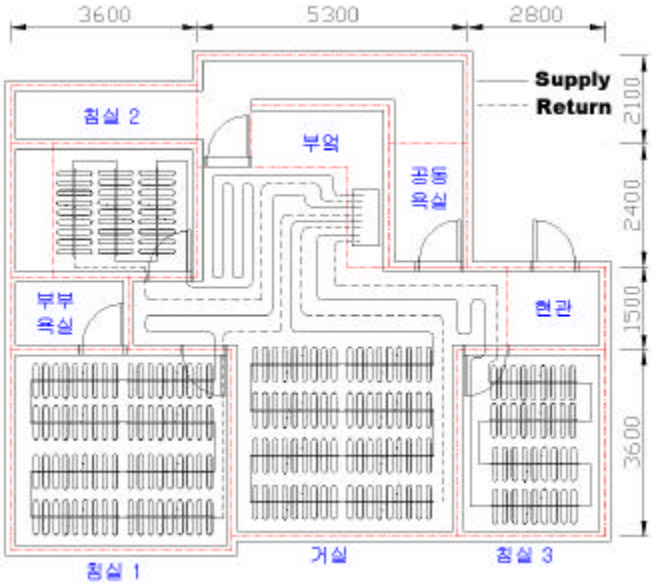
태에서도 원활히 작동하므로 구배를 주지 않았다.

순환부에서는 시험부에 보일러를 이용해 온수로 열량을 공급하였고, 보일러의 특성상 실내의 온도가 설정치에 도달하기까지 순환 펌프가 on-off를 반복하므로 순환 수량을 측정하기 위해 적산식 유량계를 설치하였고, 보일러의 연료 소비량을 측정하기 위해서 보일러로 공급되는 가스 주입구에 가스 미터를 설치하였으며, 보일러에서의 전력 소비량을 측정하기 위해서 전력계를 설치하였다.

데이터 계측부는 열전대로부터 얻어진 데이터의 처리를 위한 YOKOGAWA 사의 DR230 계측 시스템과 컴퓨터로 구성하였다.

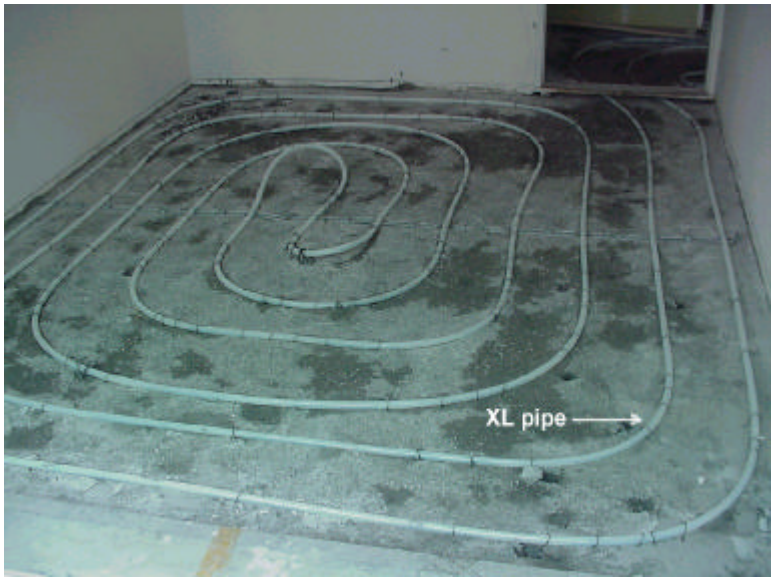


(a) XL Pipe Type

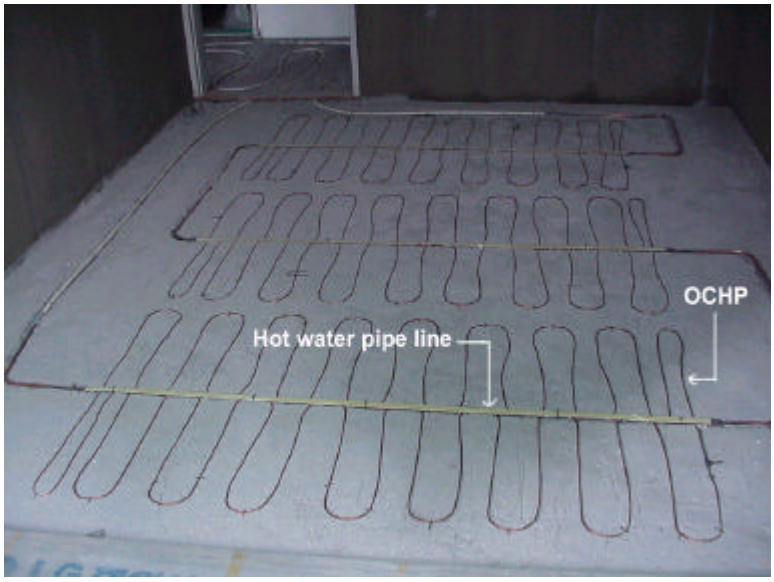


(b) OCHP Type

Fig. 5 Plan of apartment(LG Metrocity).



(a) XL Pipe Type



(b) OCHP Type

Photo. 2 Photograph of XL Pipe and OCHP which were applied to apartment(LG Metrocity).

2.2.2 실험 방법

보일러를 작동시키기 시작했을 때부터 정상 상태에 도달하기까지의 비정상 상태에서의 특성을 알아보기 위해 초기 240분 동안은 보일러의 출력을 최대로 하여 보일러가 작동 될 때의 여러 가지 특성을 파악하였고, 정상 상태에서 보일러를 정지시키고 난 후의 비정상 상태에서의 특성을 알아보기 위해 정상 상태에서 보일러를 정지시키고, 그 후부터 240분 동안의 특성을 파악하였다. 그리고 정상 상태에서의 특성을 알아보기 위해 정상 상태에 도달한 후부터 60분 동안의 난방 공간내의 특성을 파악하였다.

온수의 입·출구 온도를 측정하기 위해 보일러의 온수 입·출구 측에 T형 열전대를 1개씩 부착하였고, 난방 공간내의 바닥면 온도를 측정하기 위해 각 방, 부엌, 그리고 거실에 2개씩, 총 8개의 T형 열전대를 부착하였다. 또한, 난방 공간내의 실내 공기 온도를 측정하기 위해 T형 열전대를 바닥으로부터 1.5m 높이에 각 구역에 2개씩, 총 8개를 설치하였다. 열전대로 부터 얻어진 데이터의 처리는 YOKOGAWA사의 DR230 계측 시스템과 컴퓨터를 이용하여, 1분 간격으로 측정하였다.

순환 수량, 연료 소비량 그리고 전력 소비량은 비정상 상태에서는 10분 간격으로, 정상 상태에서는 5분 간격으로 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 패널형 바닥 난방 실험

OCHP를 이용한 바닥 난방에서 내부 봉입량 및 온수 입구 온도에 따른 성능을 알아보기 위해 온수를 최대 유량인 약 200kg/h로 일정하게 유지시킨 상태에서 OCHP의 증발부로부터 응축부까지의 길이 방향에 따른 온도의 변화를 Fig. 6 Fig. 8에 나타내었다. 증발부(0㎝)로부터 멀어질수록 온도가 감소하였으나 증발부(0㎝)와 응축부(35㎝)의 중간 위치(17.5㎝) 이하에서부터는 온도가 거의 균일하게 나타났다. 이는 OCHP를 바닥난방에 이용할 경우 XL Pipe를 이용한 바닥 난방보다 파이프간의 간격 또한 조밀하다는 사실과 함께 바닥 전체가 거의 균일한 온도를 나타내 열골 현상이 적을 것임을 알 수 있다. 또, 내부 봉입량이 40%인 경우가 30%, 50%인 경우보다 동일 조건에서 전체적으로 관 표면의 온도가 높은 것으로 나타났다.

Fig. 9 Fig. 11은 아연 도금 강판 패널의 표면을 통한 단위 면적당 방열량을 유량에 따라 나타낸 것이다. 방열량은 식 (1)과 같이 열유속으로 나타내었다.

$$q'' = \frac{\dot{m} c_p (T_{w,i} - T_{w,o})}{A} \quad (1)$$

동일한 조건에서 유량이 크고 온수 온도가 높을수록, 내부 봉입량이 40%인 경우가 30%, 50%인 경우보다 대체로 방열량이 크게 나타났다.

Fig. 12는 동일한 유량(약 200kg/h)에서 60℃의 온수를 보내기 시작한 때부

터 시간에 따른 OCHP와 XL Pipe를 이용한 바닥 난방 패널의 표면 온도를 비교한 것이다. OCHP형 바닥 난방이 XL Pipe형 바닥 난방보다 약 5℃가 높은 상태에서 일정해 졌고, 정상 온도에 도달하기까지 걸린 시간도 OCHP형 바닥 난방이 약 6분 정도 소요된데 반해 XL Pipe형 바닥 난방의 경우에는 약 13분이 소요되었다. 그리고 내부 봉입량이 40%인 경우에서 가장 높은 표면 온도와 가장 빠른 온도 상승이 나타났다.

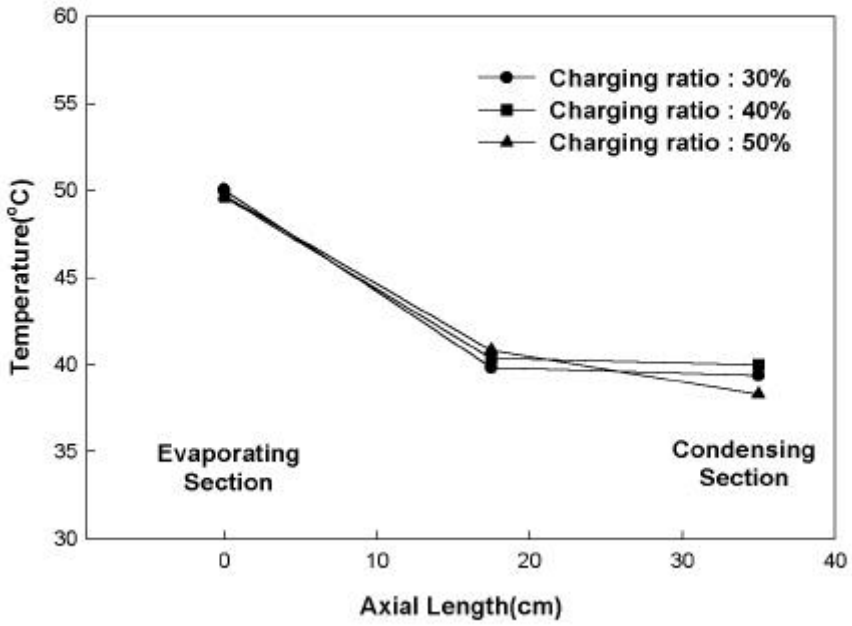


Fig. 6 Variation of wall temperature of OCHP according to charging ratio. (Inlet water temperature : 50℃)

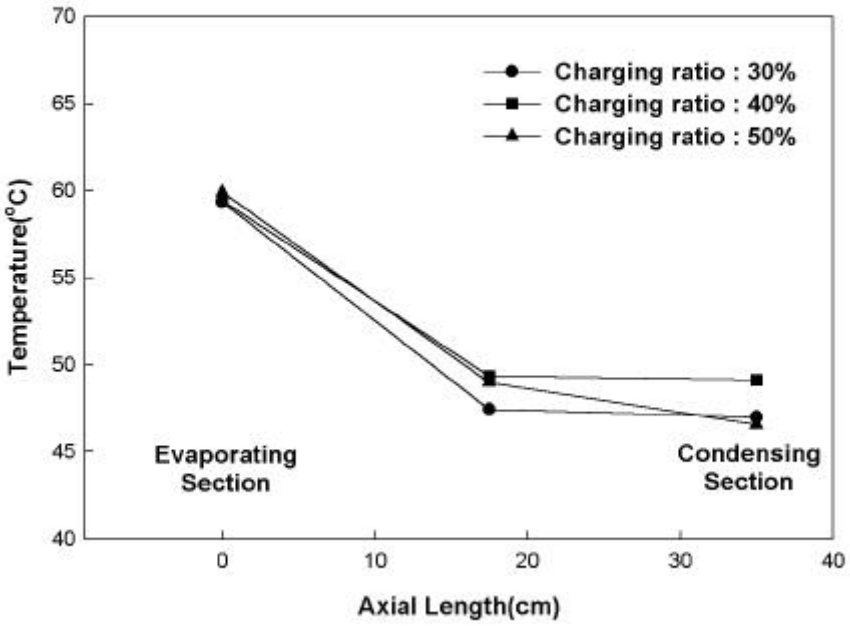


Fig. 7 Variation of wall temperature of OCHP according to charging ratio. (Inlet water temperature : 60℃)

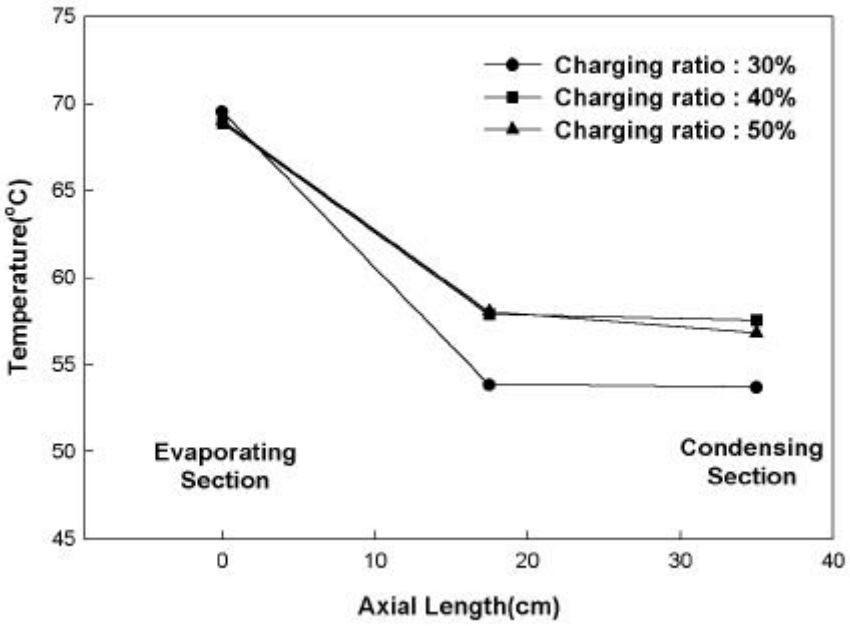


Fig. 8 Variation of wall temperature of OCHP according to charging ratio. (Inlet water temperature : 70℃)

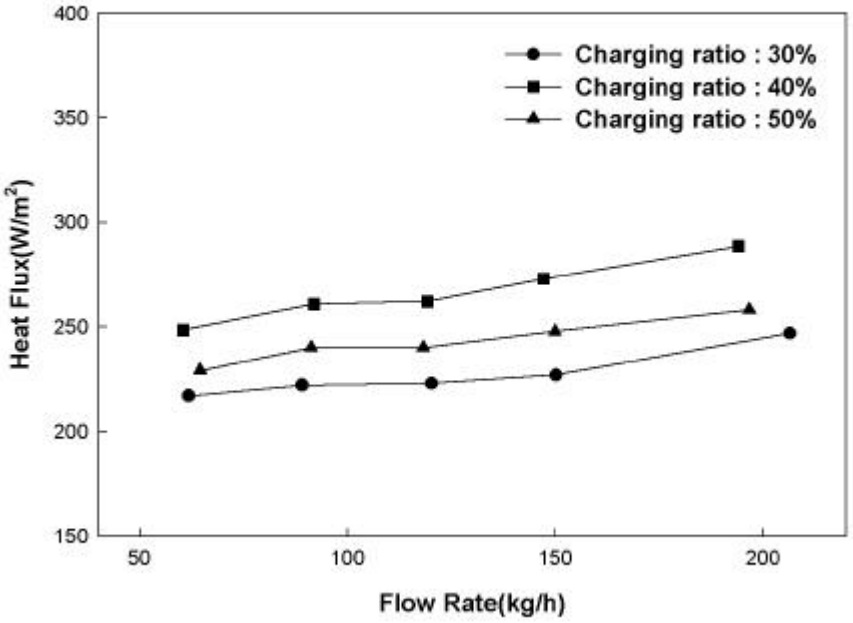


Fig. 9 Variation of heat flux according to charging ratio.
(Inlet water temperature : 50℃)

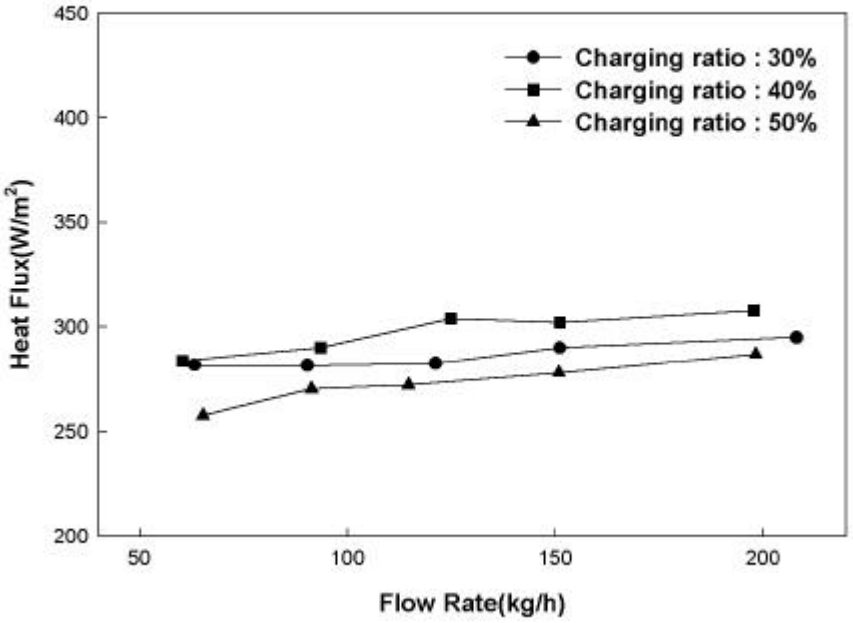


Fig. 10 Variation of heat flux according to charging ratio.
(Inlet water temperature : 60℃)

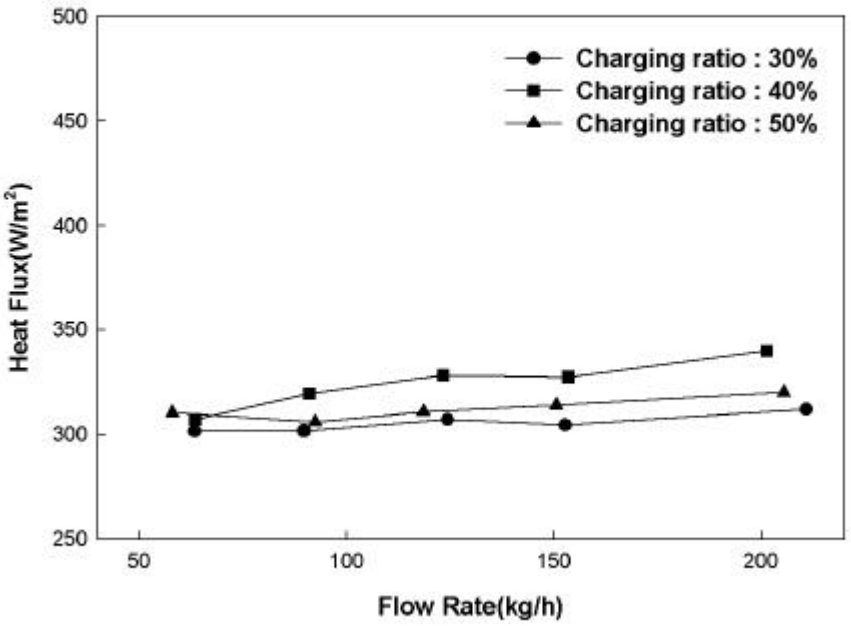


Fig. 11 Variation of heat flux according to charging ratio.
(Inlet water temperature : 70℃)

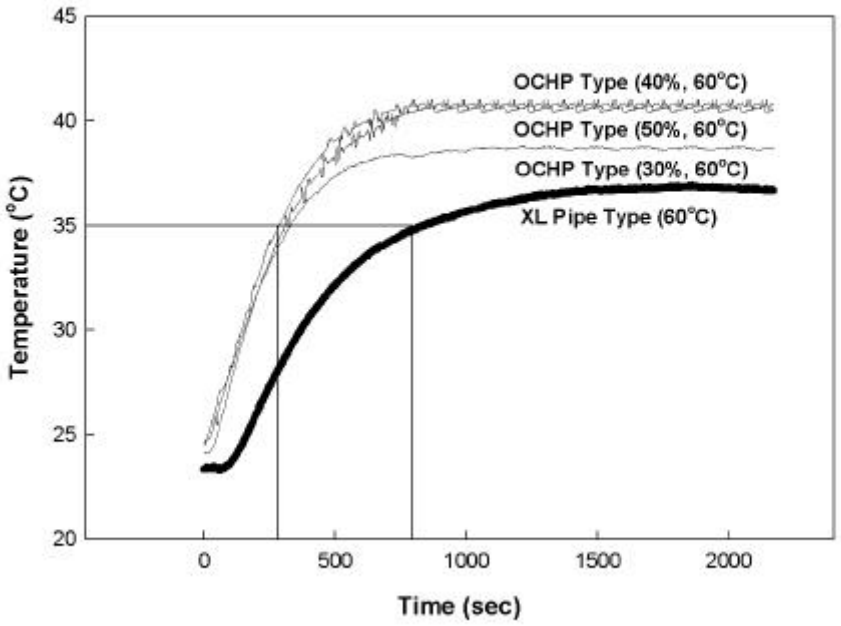


Fig. 12 Variation of surface temperature of panel according to time.
(Inlet water temperature : 60℃)

3.2 바닥 난방의 실제 주택 적용 실험

3.2.1 비정상 상태에서의 특성

초기의 실내 상태에서부터 보일러를 가동시켜 정상 상태에 도달하기까지 초기 240분 동안, 정상 상태에서 보일러를 정지시킨 후부터 240분 동안의 비정상 상태의 특성을 Fig. 13 Fig. 20에 나타내었다.

Fig. 13은 보일러가 작동될 때의 바닥면의 온도 변화를 나타낸 것이다. OCHP형 바닥 난방에서는 약 100분만에 바닥면의 온도가 35℃에 도달하였지만, XL Pipe형 바닥 난방에서는 240분만에 도달하였다. OCHP형 바닥 난방이 XL Pipe형 바닥 난방보다 열적 응답성이 더 우수하게 나타나 바닥면이 설정 온도에 도달하는 시간을 단축시킬 수 있는 것으로 나타났다. 이는 선행된 패널형 바닥 난방 실험의 결과와 일치하였다. 그리고 동일한 보일러 출력에서 OCHP형 바닥 난방의 경우 최고 바닥면의 온도가 약 40℃까지 도달하였으나, XL pipe형 바닥 난방의 경우 약 35℃까지 도달하였다. 결국 OCHP형 바닥난방에서는 보일러의 온수 온도를 약 5℃ 정도 낮추어도 XL Pipe형 바닥 난방과 동일한 바닥면의 온도를 얻을 수 있다.

Fig. 14는 보일러가 정지된 240분 동안의 바닥면의 온도 변화를 나타낸 것이다. OCHP형 바닥 난방의 경우 Fig. 13과 같이 XL Pipe형 바닥 난방에 비해 바닥면이 임의의 온도에 도달하는 시간은 짧았으나, 보일러가 정지한 상태에서의 온도 강하도 빨랐다. 이는 보일러가 정지했을 경우 순환 펌프도 정지하므로, 난방관 내에 정지되어 있는 온수량의 차이에서 오는 열용량의 차이와 난방관의 전열 성능의 차이 때문으로 생각된다.

Fig. 15와 Fig. 16은 보일러가 작동될 때와 정지되었을 때의 240분 동안의

실내 온도 변화를 나타낸 것이다. Fig. 13, Fig. 14와 유사한 특징을 나타내었는데, 온수의 열용량 차이 및 OCHP의 빠르고 우수한 열적 응답성 때문으로 생각된다.

위의 Fig. 13 Fig. 16에서와 같이 OCHP형의 바닥 난방은 난방 공간내의 온도가 빠르게 상승하고 하강함으로써, 바닥 난방 방식도 신속한 열적 응답성을 가지게 되었다.

Fig. 17은 보일러가 작동될 때의 보일러 입·출구에서 온수의 온도 변화를 나타낸 것이다. OCHP형 바닥 난방의 경우 필요 순환 수량이 XL Pipe형 바닥 난방보다 적기 때문에 보일러 입·출구 온수의 온도가 XL Pipe형 바닥 난방에 비해 더 빨리 상승하였다. 그래프에서 완만한 온도의 상승이 나타나는 구간은 보일러에서 온수를 난방에 필요한 온도까지 상승시키기 위해 보일러가 지속적으로 가동되는 구간이며, 온도의 변화가 파형으로 나타나는 구간은 난방에 필요한 온도까지 온수의 온도가 상승된 후부터 온수의 온도를 난방에 필요한 온도로 유지시키는 구간으로써 보일러가 간헐적으로 가동되는 구간이다. OCHP형 바닥 난방에 있어서는 온도의 변화가 완만한 구간이 짧고, 파형 구간이 긴 것으로 나타났는데, 이는 OCHP형 바닥난방에서는 순환 수량이 적기 때문에 초기에 난방에 필요한 설정치까지 빠른 시간에 상승한 후, 간헐적으로 보일러가 on-off되기 때문이며, XL Pipe형 바닥 난방은 순환 수량이 많아서 온수의 온도가 설정치까지 상승하기 위해서 많은 시간이 걸리기 때문에 온도의 변화가 완만한 구간이 긴 시간동안 나타났고, 파형의 구간은 약 3시간 정도가 경과된 후부터 나타났다. 결국 온수의 온도 변화가 완만한 구간이 길수록 보일러가 가동되는 시간이 더 길어지게 된다.

Fig. 18은 보일러가 작동될 때, 보일러의 순환 수량을 나타낸 것이다. (a)는 10분 단위의 순환 수량을 나타낸 것이고, (b)는 누적된 값이다. 초기 60분 동

안에는 두 난방 방식에서 비슷한 순환 수량을 나타내었지만, 그 이후에는 급격한 차이가 나타났다. 이는 난방관 내의 체적 차이에서 오는 수량의 차이와 OCHP형 바닥 난방의 경우에는 보일러의 온수 평균 입·출구 온도가 난방에 필요한 온도까지 빠르게 상승한 이후로는 간헐적으로 운전되지만, XL Pipe형 바닥 난방의 경우에는 온수의 평균 입·출구 온도를 난방에 필요한 온도까지 상승시키는 시간이 더 오래 걸리므로 보일러가 지속적으로 작동되는 시간이 더 길기 때문이다.

Fig. 19는 보일러가 작동될 때, 보일러의 전력 소비량을 나타낸 것이다. (a)는 10분 단위의 전력 소비량이고, (b)는 누적된 값이다. XL Pipe형 바닥 난방에서 소비되는 전력량이 더 많았다. 보일러에서는 순환 펌프가 소비하는 전력이 주요하므로, Fig. 18에서와 같이 순환 수량이 더 많은 XL Pipe형 바닥 난방에서의 전력 소비량이 더 많았다.

Fig. 20은 보일러가 작동될 때의 연료(LPG) 소비량을 나타낸 것이다. (a)는 10분 단위의 연료 소비량이고, (b)는 누적된 값이다. 초기 50분 동안에는 두 난방 방식에서 소비된 연료량이 비슷하였으나, 그 이후에는 급격한 차이를 나타내었다. 이것은 보일러의 출력이 동일하므로, 초기 50분 동안에 동일한 양의 온수를 가열하게 되어 연료 소비량이 비슷하게 나타났지만, OCHP형 바닥 난방에서는 전체 수량이 상대적으로 적기 때문에 전체 온수의 온도가 약 50분 동안에 난방에 필요한 온도까지 상승하였고, 그 이후에는 온수의 온도를 일정하게 유지하기 위해 보일러가 간헐적으로 작동하게 된다. 그러나 XL Pipe형 바닥 난방에서는 온수 전체의 수량이 더 많기 때문에 온수가 난방에 필요한 온도까지 도달하기 위해서 더 많은 시간이 필요하게 되고, 결국 더 많은 시간 동안 보일러가 지속적으로 작동된다. 이러한 운전상의 특성으로 인해 연료 소비량에서 차이가 나타났다. XL Pipe형 바닥 난방의 경우 초기 240분 동안 약

7.44kg이 소비되었고, OCHP형 바닥 난방의 경우 약 5.64kg이 소비되어 OCHP형 바닥 난방에서 약 24%정도의 연료가 절약되었다.

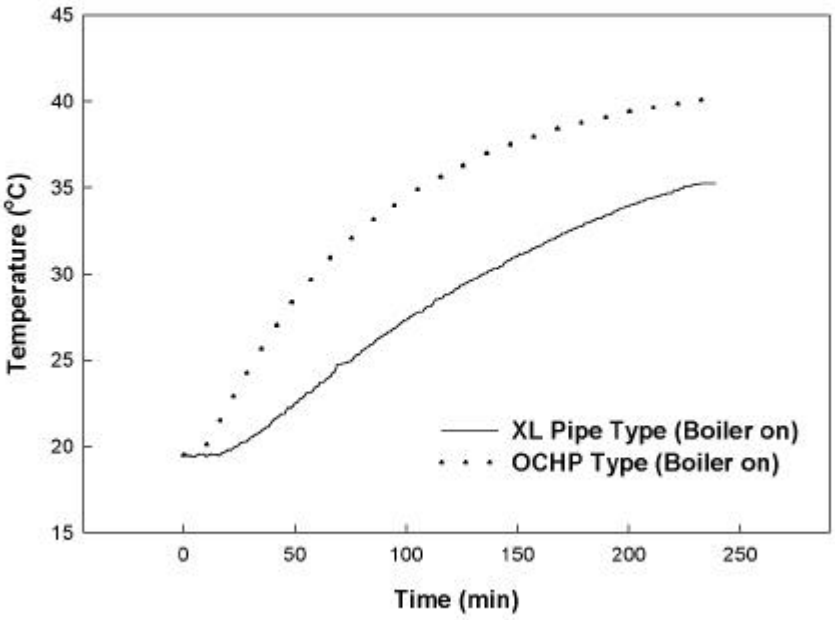


Fig. 13 Variation of surface temperature of floor according to time. (Transient state-Boiler on)

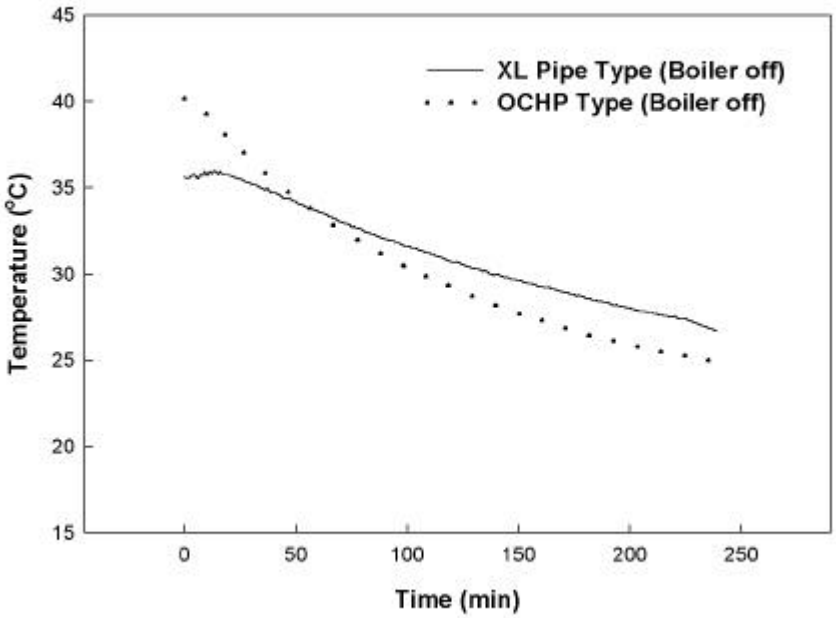


Fig. 14 Variation of surface temperature of floor according to time. (Transient state-Boiler off)

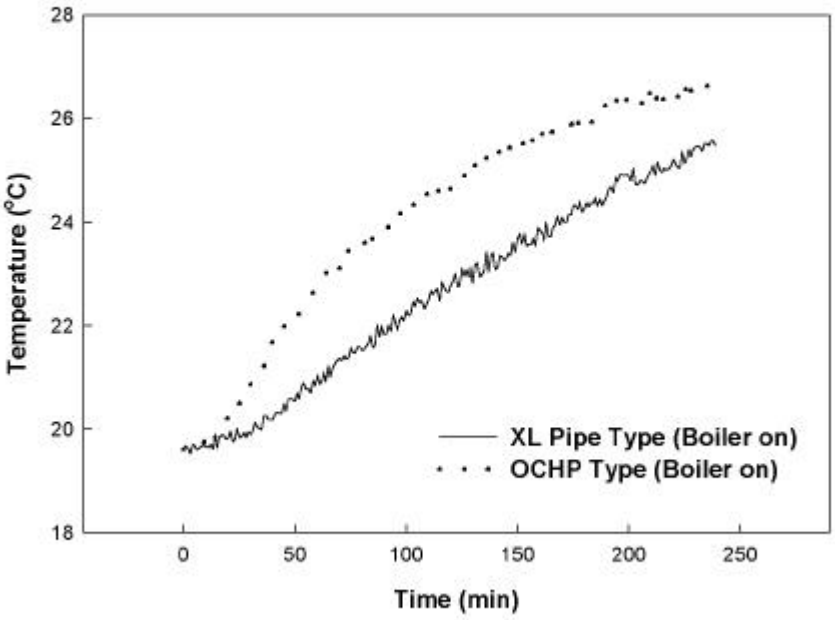


Fig. 15 Variation of indoor temperature according to time. (Transient state-Boiler on)

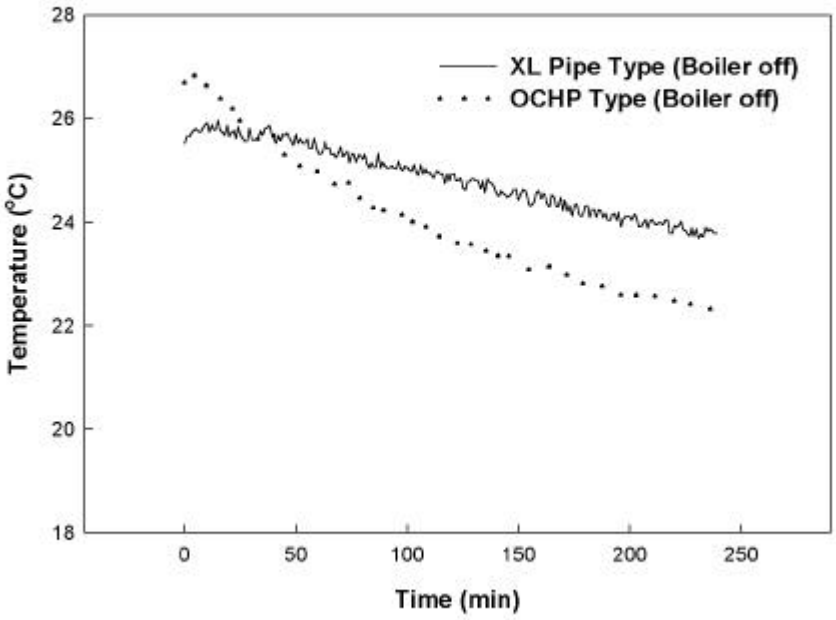


Fig. 16 Variation of indoor temperature according to time.
(Transient state-Boiler off)

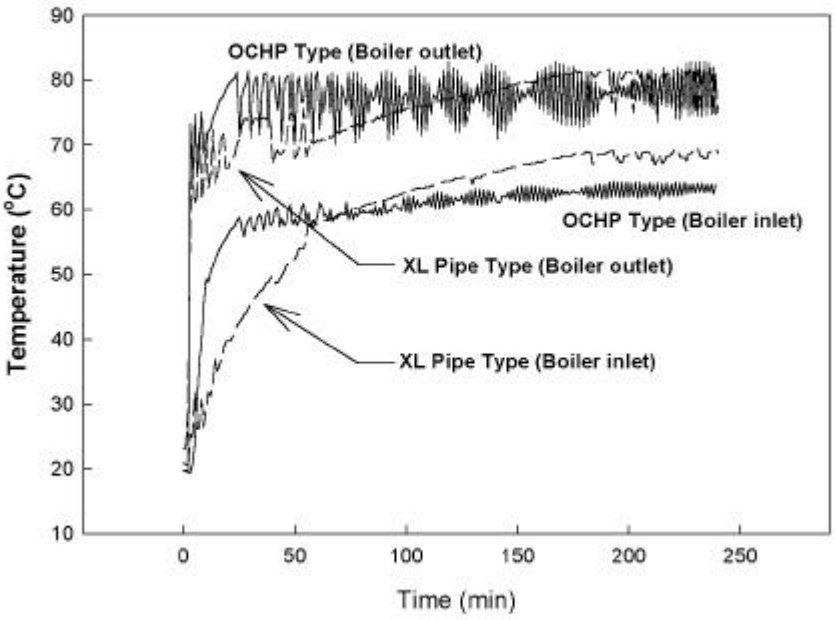
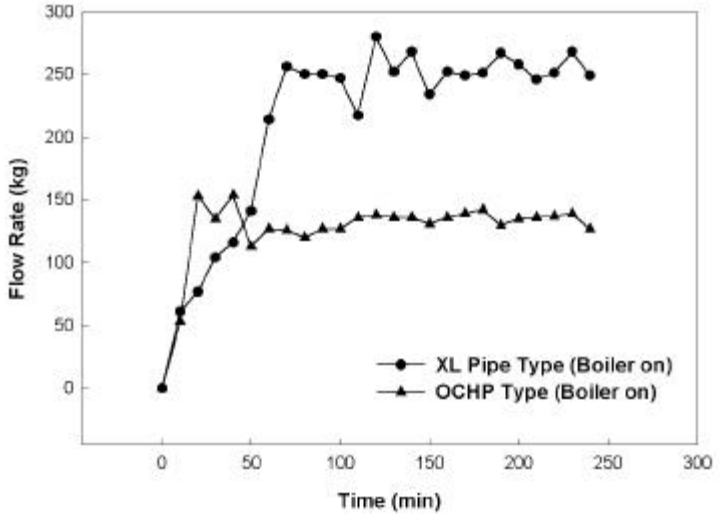
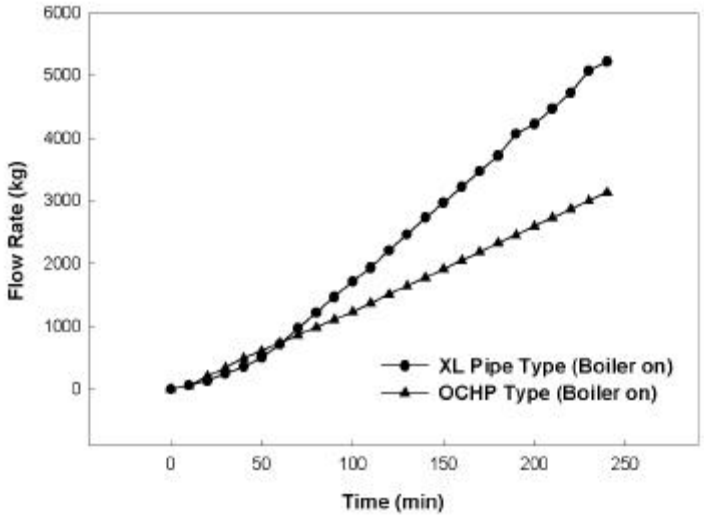


Fig. 17 Variation of hot-water temperature according to time.
(Transient state-Boiler on)

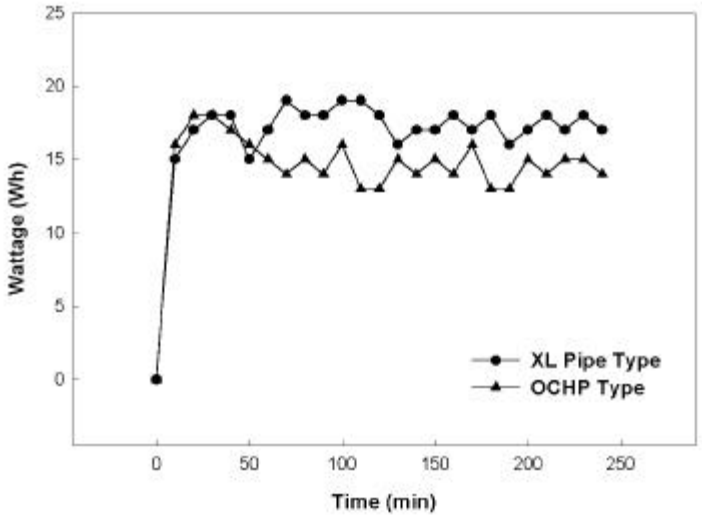


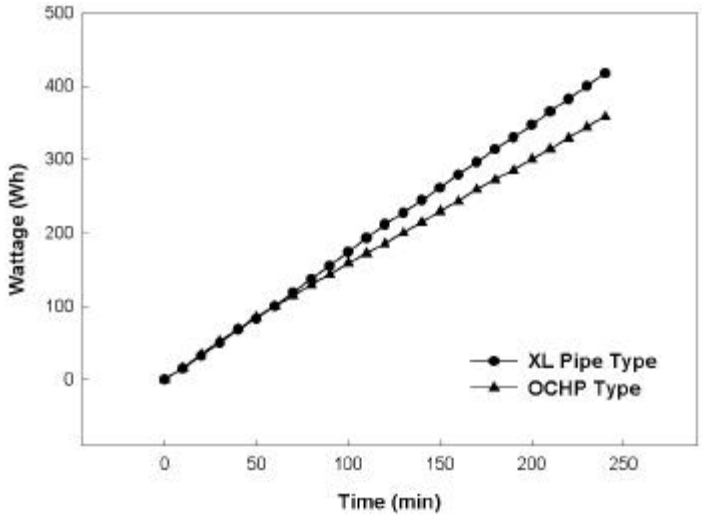


(b) Accumulated

Fig. 18 Flow rate according to time.

(Transient state-Boiler on)

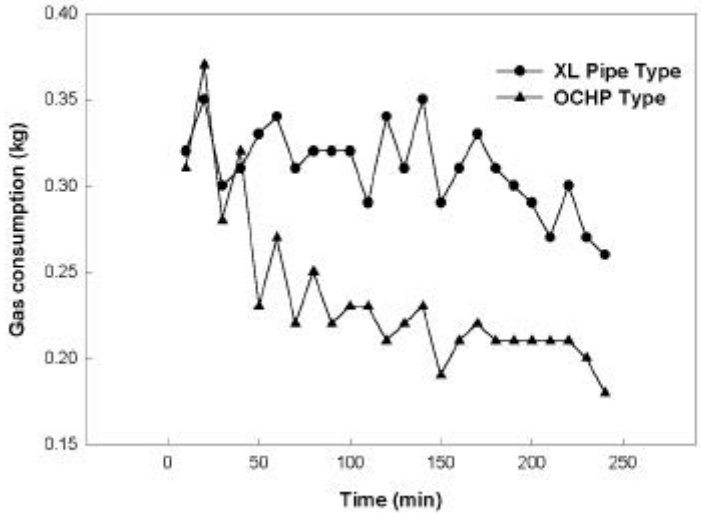


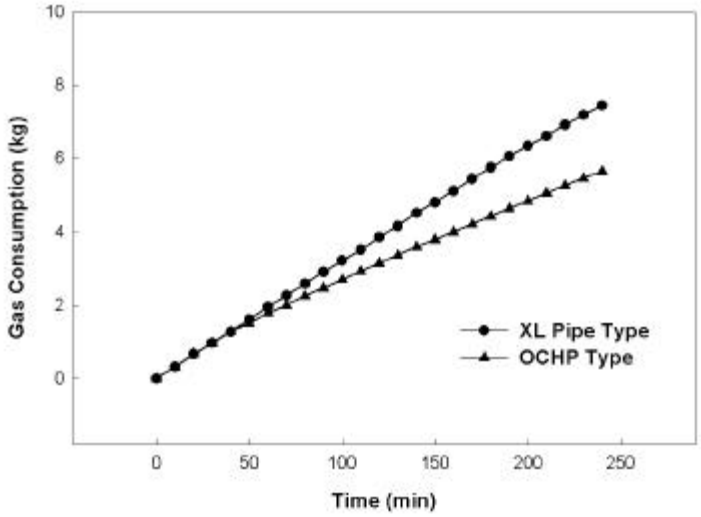


(b) Accumulated

Fig. 19 Accumulated wattage according to time.

(Transient state-Boiler on)





(b) Accumulated

Fig. 20 Gas consumption according to time.
(Transient state-Boiler on)

3.2.2 정상상태에서의 특성

Fig. 21 Fig. 25는 보일러가 가동을 시작해서 240분이 지난 후부터 난방 공간이 정상 상태일 때, 60분 동안의 특성을 나타낸 것이다. 이 기간에는 보일러가 온수의 온도를 일정하게 유지하기 위해 간헐적으로 작동되며, 비정상 상태에 비해 보일러가 작동되는 총 시간이 짧다.

Fig. 21과 Fig. 22는 바닥 온도와 실내 온도의 변화를 나타낸 것이다. OCHP형 바닥 난방은 동일한 보일러 출력에서 더 높은 온도를 나타내었고, 바닥 온도의 경우에는 약 5℃가 높게 나타나 XL Pipe형 바닥 난방보다 성능이 더 우수함을 알 수 있다.

Fig. 23은 보일러의 순환 수량을 나타낸 것이다. (a)는 5분 단위의 순환 수량이고, (b)는 누적된 값이다. XL Pipe형 바닥 난방이 OCHP형 바닥 난방보다 순환수량이 약 2배가 많은 것으로 나타났다. 이는 배관내의 체적 차이에서 오는 수량의 차이로 OCHP형 바닥 난방의 경우 XL Pipe형 바닥 난방에 비해 보일러가 간헐적으로 작동되어 보일러가 작동되는 시간이 상대적으로 짧기 때문이다.

Fig. 24는 보일러의 소비 전력량을 나타낸 것이다. (a)는 5분 단위의 소비 전력량이고, (b)는 누적된 값이다. 순환 수량의 변화와 비슷한 경향이 나타났고, XL Pipe형 바닥 난방에서 더 많은 전력을 소비하였다.

Fig. 25는 보일러의 연료 소비량을 나타낸 것이다. (a)는 5분 단위의 연료 소비량이고, (b)는 누적된 값이다. 온수의 온도를 일정하게 유지하는데 소비된 연료량도 XL Pipe형에서 더 많았는데, 이는 온수 전체의 수량이 더 많아서 온수가 방열을 한 후 온도 강하가 일어날 때, 보일러가 가열해야 할 열용량이 더 많기 때문이다. XL Pipe형 바닥 난방에서는 약 1.75kg이 소비되었고,

OCHP형 바닥 난방에서는 약 1.17kg이 소비되어 OCHP형 바닥 난방이 약 33%정도 연료가 절약되었다.

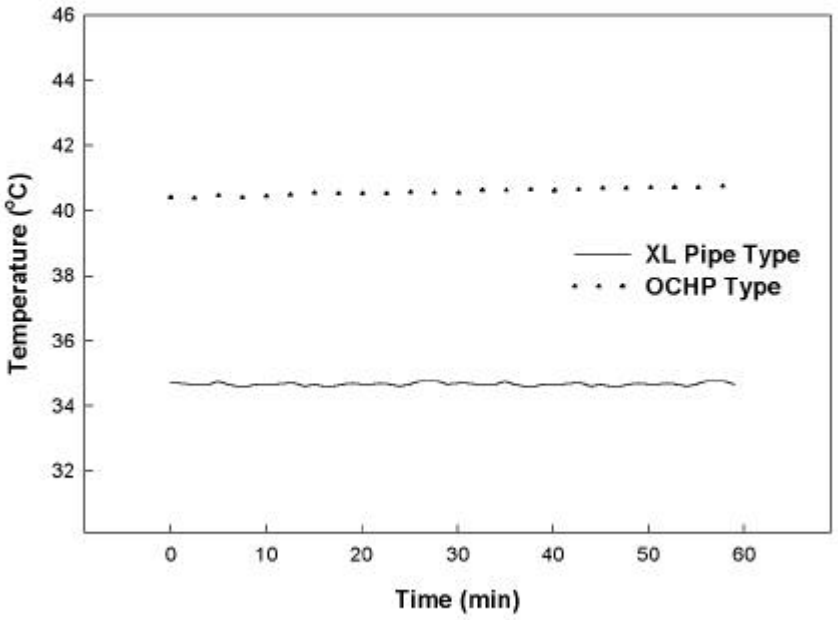


Fig. 21 Variation of surface temperature of floor according to time.
(Steady state-Boiler on)

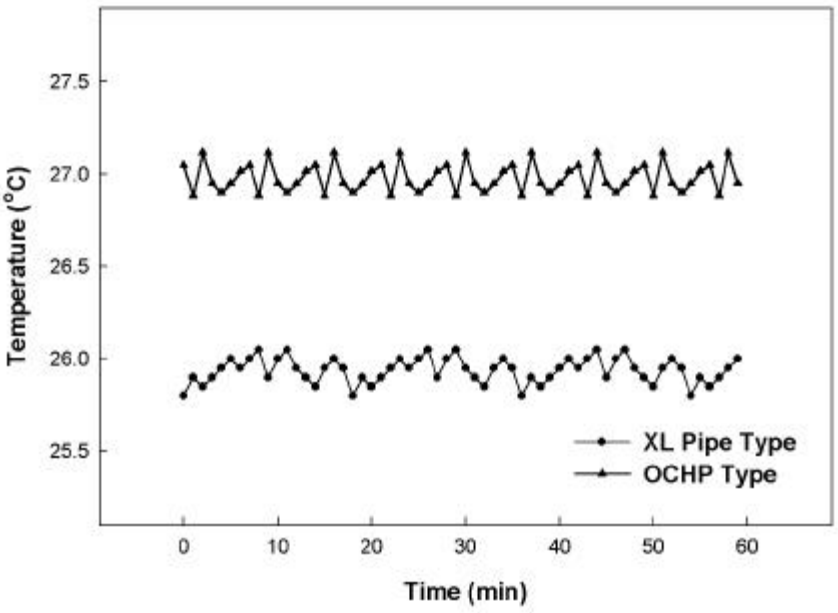
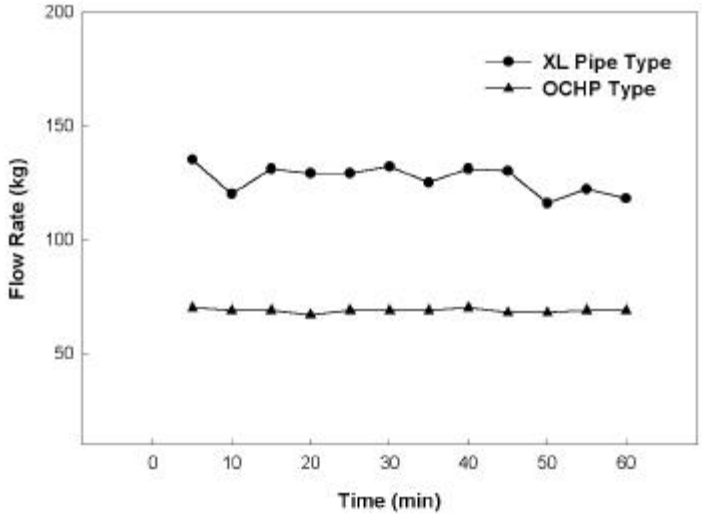
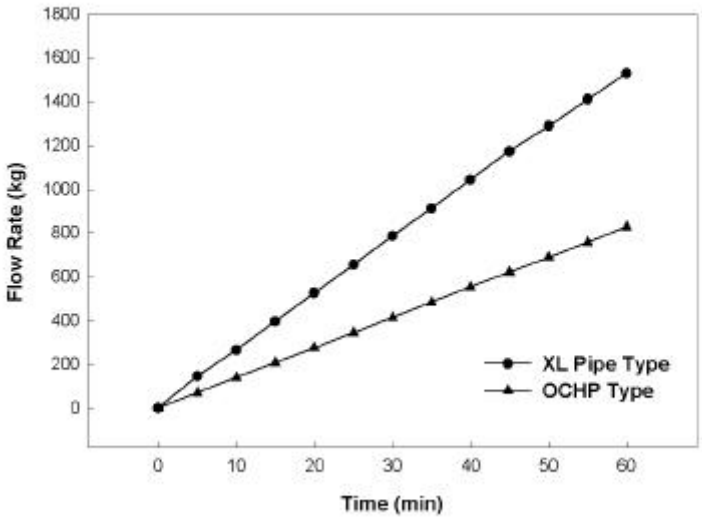


Fig. 22 Variation of indoor temperature according to time.
(Steady state-Boiler on)

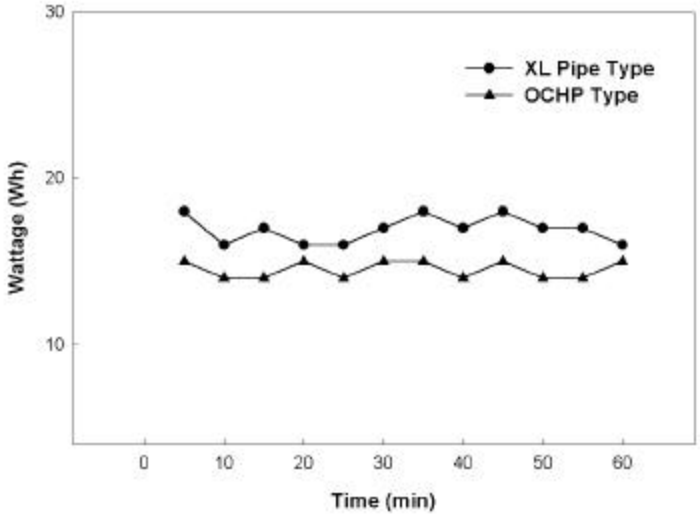


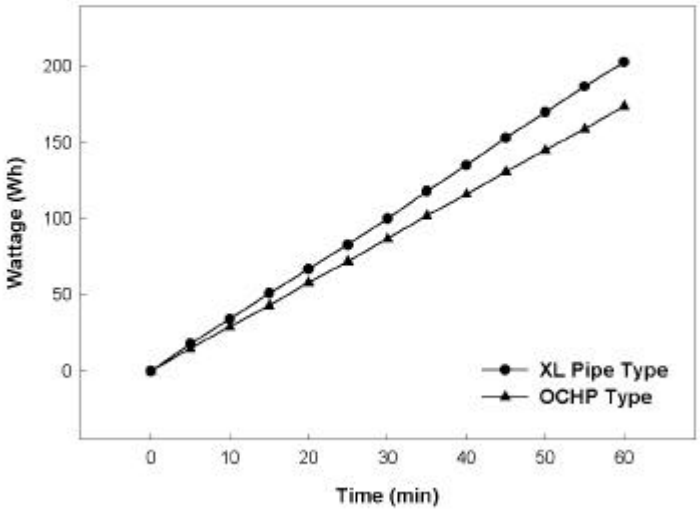


(b) Accumulated

Fig. 23 Flow rate according to time.

(Steady state-Boiler on)

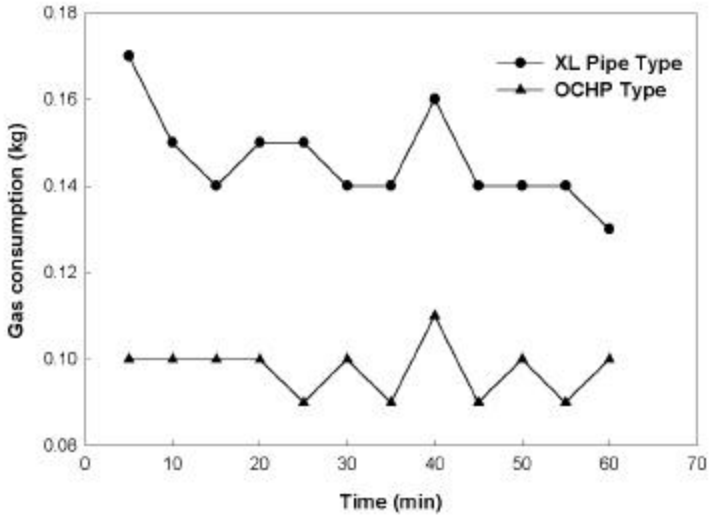


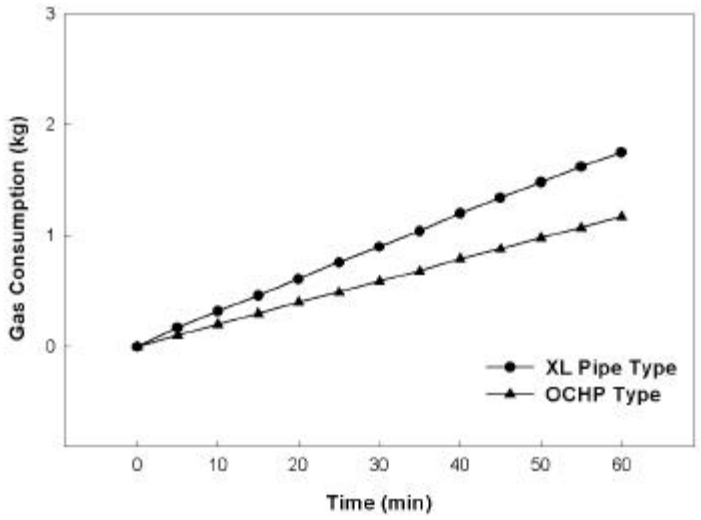


(b) Accumulated

Fig. 24 Wattage according to time.

(Steady state-Boiler on)





(b) Accumulated

Fig. 25 Gas consumption according to time.

(Steady state-Boiler on)

3.2.3 보일러의 연료비 절약량

Table 1은 두 난방 방식에서 비정상 상태와 정상 상태의 누적된 보일러의 연료 소비량을 나타낸 것이다. XL Pipe형 바닥 난방의 경우 비정상 상태와 정상 상태에서 매 60분 동안 거의 일정한 양의 연료가 소비되는데 반해, OCHP형 바닥 난방에서는 시간이 지날수록 소비된 연료량이 점차적으로 감소하였다.

Table 2는 Table 1의 누적 연료 소비량을 연료비로 나타낸 것이다. 본 실험의 결과로부터 하루 10시간씩(비정상 상태 : 4시간, 정상 상태 : 6시간) 한달(30일) 동안 난방을 목적으로 보일러를 가동할 경우 OCHP형 바닥 난방은 XL Pipe형 바닥 난방에 비해서 약 30%의 연료비가 절약되는 것으로 나타났다.

Table 1. Accumulated gas(LPG) consumption

(unit : kg)

Transient state			Steady state		
Time (min)	XL Pipe Type	OCHP Type	Time (min)	XL Pipe Type	OCHP Type
0	0	0	0	0	0
10	0.32	0.31	5	0.17	0.10
20	0.67	0.68	10	0.32	0.20
30	0.97	0.96	15	0.46	0.30
40	1.28	1.28	20	0.61	0.40
50	1.61	1.51	25	0.76	0.49
60	1.95	1.78	30	0.90	0.59
70	2.26	2	35	1.04	0.68
80	2.58	2.25	40	1.20	0.79
90	2.9	2.47	45	1.34	0.88
100	3.22	2.70	50	1.48	0.98
110	3.51	2.93	55	1.62	1.07
120	3.85	3.14	60	1.75	1.17
130	4.16	3.36			
140	4.51	3.59			
150	4.8	3.78			
160	5.11	3.99			
170	5.44	4.21			
180	5.75	4.42			
190	6.05	4.63			
200	6.34	4.84			
210	6.61	5.05			
220	6.91	5.26			
230	7.18	5.46			
240	7.44	5.64			

Table 2. Gas(LPG) cost saving

(551.46won/㎥, 2001/10/1)

Type	State	1 day (won)		1 month (won)		Cost ratio (%)
XL Pipe	Transient (4 hour)	2169.68	5231.73	65090.40	156951.90	100
	Steady (6 hours)	3062.05		91861.50		
OCHP	Transient (4 hours)	1644.76	3691.96	49342.80	110758.80	70
	Steady (6 hours)	2047.20		61416.00		

4. 결 론

본 논문에서는 전자 기기의 냉각이나, 폐열 회수 등에 이용되어온 진동 세관형 히트 파이프(OCHP)를 우리 나라 고유의 난방 방식인 바닥 난방에 적용하였고, 지금까지 주로 이용되어 오고 있는 XL Pipe형 바닥 난방 방식과 그 성능을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 기존의 히트 파이프를 이용한 바닥 난방에서는 작동액의 원활한 순환을 위해 히트 파이프에 경사를 주었지만, OCHP를 이용할 경우 경사가 없이도 원활히 작동하였고, OCHP는 바닥 난방에 적용되어도 우수한 열적 응답성을 나타내었다.

2. OCHP형 바닥 난방의 경우 XL Pipe형 바닥 난방에 비해 바닥면과 실내의 온도가 더 높은 온도까지 빠르게 상승하였으나 보일러를 정지시킨 후에는 빠르게 하강하였다.

3. 바닥 난방에 필요한 바닥면의 온도를 35℃라고 가정했을 경우, OCHP형 바닥 난방에서는 보일러를 가동시킨 후 약 100분만에 도달하였으나, XL Pipe형 바닥 난방의 경우 약 240분만에 도달하였다.

4. OCHP형 바닥 난방은 XL Pipe형 바닥 난방에 비해 순환 수량이 적어 순환 펌프의 가동시간이 상대적으로 짧기 때문에 보일러의 전력 소비량이 더 적었다.

5. OCHP형 바닥 난방에서는 바닥면의 온도를 상승시키고, 그 온도를 유지하는데 드는 연료 소비량이 XL Pipe형 바닥 난방에 비해 더 적었다. 하루 10시간씩 30일 동안 보일러를 사용하였을 경우, OCHP형 바닥 난방은 XL Pipe형 바닥 난방보다 약 30%의 연료비를 절약할 수 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

(1) 魏 啓陽, 和泉智水, 前澤三郎, 赤地久輝, 1998, “ル一プ型振動ヒ一トパイプの傳熱特性”, 日本傳熱シンポジウム講演論文集, pp. 519 520

(2) 前澤三郎, 1994, “細管サ一モサイフォンドリムパイプ”, 日本機械學會第71期通常總會講 演會論文集(Ⅲ)

(3) H. Akachi, 1994, "Looped Capillary Tube Heat Pipe", Proceedings of 71th General meeting Conference of JSME, Vol. 3, No. 940-10, pp. 606 611

(4) 한국 생산기술연구원 부설 산업기술시험평가연구소, 1997, "Heat-Pipe를 이용한 난방 시스템의 성능 평가"

(5) 영남대학교 공과대학 부설 공업기술연구소, 1991, "히트파이프를 이용한 난방 시스템의 성능 해석"

(6) 한국 건설기술연구원, 1992, "고효율 프리패브 온돌 시스템 개발"

(7) 김철주 외, 1999, "온돌 난방용 히트 파이프", 한국 설비기술협회지 통권 182호, pp. 78 89

(8) Cengel, 1999, "Heat Transfer", McGraw-Hill, pp. 149 160

(9) **이재원 외**, 1995, "**온돌 실내 공간의 온도 제어**", **공기조화냉동공학논문집** Vol. 7, No. 3, pp. 538 545

(10) **배순훈**, **강신형**, 1975, "**온돌의 열효율에 관한 실험적 연구**", **공기조화냉동공학**, Vol. 4, pp. 183 190