

소형 이동식 모듈주택의 벽면에 냉수배관 매설에 의한 냉방온도 특성

조동현*,#

*대전대학교 기계공학과

Characteristics of Cooling Temperature of Cold Water Pipes Buried in the Wall of a Small Mobile Modular House

Dong-Hyun Cho*,#

*Mechanical Engineering, DAEJIN UNIV.

(Received 16 February 2022; received in revised form 17 December 2002; accepted 28 February 2022)

ABSTRACT

A chiller cooler absorbs the thermal energy of water to generate cold water and supplies the generated cold water to a cold water pipe buried in the wall of a small mobile modular house to greatly increase the cooling area. An attempt was made to reduce the required cooling time significantly. A small chiller cooler suitable for the cooling load of a small mobile modular house with an area less than 3.3 m² was employed. When cooling is done during summer using a chiller cooler installed outdoors, heat absorption energy loss occurs in the cold water pipe owing to the high temperature. To address this, a study was conducted to reduce the endothermic energy loss significantly. As the mass flow rate of the cold water flowing inside the cold water pipe increased, the temperature decrease gradient of the cold water increased. From the start of the cooling operation, the air temperature of the small mobile modular house decreased linearly in proportion to the operation time. Furthermore, the temperature of the air inside the small mobile modular house decreased in proportion to the increase in the flow of water inside the cold water pipe.

Keywords : Mobile Modular House(이동식 모듈하우스), Cold Water Pipe(냉수배관), Cooling Temperature(냉방온도), Cooling Performance(냉방성능), Wall of Mobile Modular House(이동식 모듈주택의 벽면)

1. 서 론

최근에 집은 도심에 있지만 COVID-19로 인하여 주말이나 휴일에 자유롭게 여행하지 못하다 보니 가족들만의 휴식처를 따로 전원에 마련하는 추세가 증가하고 있다. 새로 집을 짓기에는 부담이

크므로 소형 이동식 모듈주택에서 자유롭게 캠핑을 하면서 휴식을 취하는 가족들이 증가하고 있다. 이와 같은 소형 이동식 모듈주택의 여름에 냉방은 선풍기나 자연풍에 의존하고 있는 실정이다.^[1,2] 그리고 소형 이동식 모듈주택의 냉방에 대한 냉방시스템은 미흡한 실정이며, 연구보고가 미흡한 실정이다.^[3,4] 그리고 소형 이동식 모듈주택의 벽면에 냉수배관을 매설하여 냉방하는 사례가 국내외에서 드문 사례이다. 기존 칠러냉각기러는 가

Corresponding Author : chodh@daejin.ac.kr

Tel: +82-31-539-1973

정용이나 사무실용의 칠러냉각기를 면적이 3.3m² 이하의 소규모 소형 이동식 모듈주택에 적용함으로써 설치비의 상승요인이 되고 있으며, 칠러냉각기가 고부하에서 가동함으로써 성능계수가 낮은 상태에서 가동함으로써 흡열 에너지 손실을 초래하고 있다.^[5,8] 그리고 소형 이동식 모듈주택의 벽면에 매설된 냉수배관에 유동하는 냉수에 의한 냉방은 복사열전달 냉방으로 쾌적한 냉방시스템이 구현되는 특성이 있다.^[7] 그러나 냉방 초기에 이동식 모듈주택 내부에 존재하고 있는 공기로부터 냉수배관에서 유동하는 냉수로 열전도에 의해 냉각 자연대류 열전달이 진행되고, 자연대류열전달에 의해 냉방되므로 자연대류 열전달계수가 낮다.^[8,9] 이와 같이 자연대류 열전달계수가 낮으므로 인하여 초기 냉방 소요시간이 많이 소요되는 열전달 특성이 있다.^[10,11] 이와 같은 특성으로 인하여 소형 이동식 모듈주택에 거주자들은 냉방 초기에는 일정 시간동안 더위를 감내해야 되는 애로사항이 있게 된다.^[12] 그러므로 본 연구에서 칠러냉각기에서 물이 보유하고 있는 열에너지를 흡수하여 냉수를 생성하고, 생성된 냉수를 소형 이동식 모듈주택의 벽면에 매설되어 있는 냉수배관에 공급하여서 냉방면적을 크게 증가되도록 구성하여서 냉방 초기에 냉방 소요시간을 크게 감소시키는 연구를 수행하였다. 그리고 면적이 3.3m² 이하의 소규모 소형 이동식 모듈주택의 냉방부하에 적합한 소형 칠러냉각기를 연구하였다. 칠러냉각기를 실외에 설치하여 냉방할 경우 여름철의 높은 온도에 의해 냉수배관에서 흡열 에너지 손실이 발생하였으나, 소형 이동식 모듈주택 내부에 칠러냉각기를 설치하여서 냉수를 생성하여서 냉수배관 내부에 유동하는 냉수를 공급함으로써 흡열에너지 손실이 크게 감소되는 연구를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 소형 이동식 모듈주택의 벽면에 냉수배관 매설에 의해 복사열전달 냉방이 구현되는 소형 이동식 모듈주택 실험장치를 나타낸다. Fig. 2는 소형 이동식 모듈주택의 벽면에 냉수배관 매설에 의해 복사열전달 냉방이 구현되는 소형 이동식 모듈

주택 실험장치의 3D 구상도를 나타낸다. Fig. 1 ~ Fig. 2에 나타난 바와 같이 외경 15mm의 냉수배관을 소형 이동식 모듈주택의 2개의 벽면에 매설하여 냉수의 열에너지 흡열에 의해 자연대류 복사열전달 냉방이 구현되도록 실험장치를 구성하였다. 이와 같이 소형 이동식 모듈주택 벽면에 매설된 냉수배관 내부에 냉수를 순환하게 구성하고, 순환하는 냉수가 소형 이동식 모듈주택 내부 공간에 존재하는 공기에 열에너지를 흡열함으로써 냉방이 구현되는 복사열전달 냉방시스템을 구성하였다. 기존의 연구보고는 냉수패널을 주택의 바닥에 매설하여 냉방을 구현하는 연구보고가 보고 되고 있다. 냉수패널을 주택의 바닥에 매설하여 냉방을 하는 경우 주택의 바닥 표면온도가 낮아서 사람들이 밤에 수면 시 온도가 낮은 관계로 체온이 저하하여 외사풍의 염려가 유발된다. 그러므로 본 연구에서는 소형 이동식 모듈주택의 벽면에 냉수배관을 매설하여 복사열전달 냉방이 구현되도록 실험장치를 구현하여서 소형 이동식 모듈주택을 활용하는 사람들에게 웰빙 냉방이 실현되도록 연구를 수행하였다. 그리고 주택과 사무실의 냉방시스템에 대한 기존 연구는 에어컨에 의해 공기가 강제로 순환하는 강제대류 냉방시스템에 대하여 연구보고가 많이 되고 있다.^[13] 강제대류 냉방시스템은 공기의 강제대류에 의해 냉방이 구현되므로 인체 표면에서 수분 증발에 의해 건조현상이 등이 노출되고 있다. 소형 이동식 모듈주택의 벽면에 냉수배관 매설에 의한 냉방시스템은 공기 유동이 아주 적은 자연대류 열전달에 의해 복사열전달 냉방이 구현되므로



Fig. 1 Heating system experimental device by burying excel pipes on the floor and wall of container house

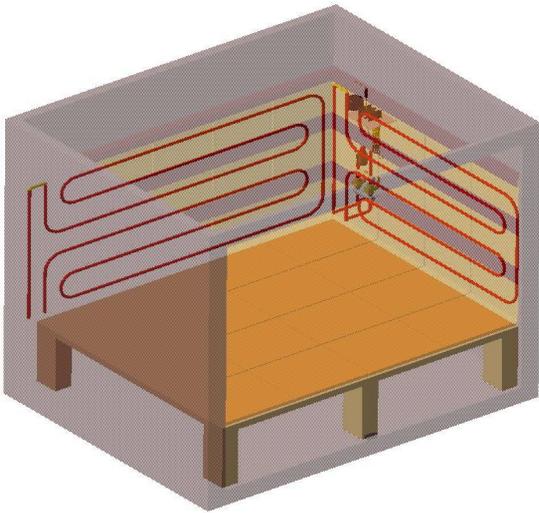


Fig. 2 3D concept drawing of heating system by burying excel pipes on the floor and wall of container house

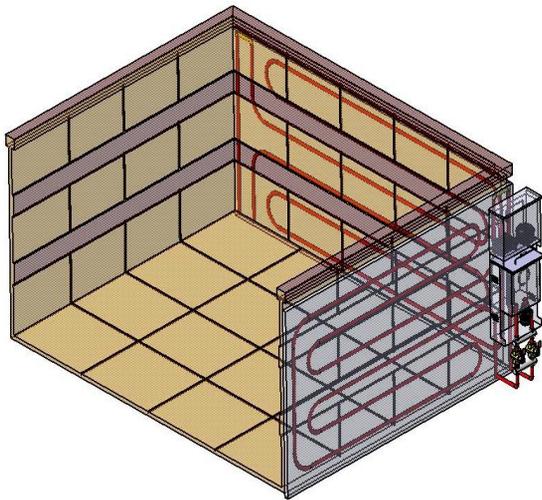


Fig. 3 Excel pipes and wall-mounted hot water boiler embedded in the floor and wall of the container house

쾌적한 냉방과 건강에 유익한 웰빙 냉방이 구현되도록 실험장치를 구성하였다. 그리고 칠러냉각기에서 생성된 냉수의 온도를 제어할 수 있는 온도 컨트롤러를 설치하여 냉수의 온도를 제어하였다. 그리고 칠

러냉각기와 소형 이동식 모듈주택을 연결하는 냉수 배관에 냉수 유량 제어용 밸브를 설치하여서 냉수의 유량을 제어하였다. 이와 같이 냉수의 온도 컨트롤러와 밸브를 설치함으로써 냉수의 온도변화와 냉수 유량의 변화에 대한 냉방시스템의 온도분포와 냉방성능을 측정할 수 있도록 실험장치를 구성하였다.

Fig. 3은 소형 이동식 모듈주택의 벽면에 매설된 냉수배관을 나타낸다. 소형 이동식 모듈주택 벽면에 매설된 냉수배관은 산과 알칼리에 부식의 염려가 없고, 균열 변형이 없어서 내구성이 큰 폴리에틸렌 파이프(polyethylene pipe)를 매설하였다. 그리고 폴리에틸렌 파이프는 무게가 가볍고 연성의 성질로 시공이 편리하며 물 생산으로 이음이 없이 시공할 수 있어서 시공 시 작업이 편리하며 수밀성이 높다. 그리고 냉수순환 과정에서 폴리에틸렌 파이프 내면에 스케일이 끼지 않아 냉수 순환이 양호하고 대류 열전달이 일정하게 유지되며, 냉방 실내온도 유지가 용이한 폴리에틸렌 파이프를 소형 이동식 모듈주택 벽면에 매설하여 냉방장치의 냉방성능을 측정할 수 있도록 실험장치를 구성하였다. 그러나 소형 이동식 모듈주택은 열전도계수가 낮으므로 냉방 초기에 다소 냉방 소요시간이 많이 소요된다. 이와 같은 현상을 해결할 수 있도록 냉방 전열면적을 증가시켜서 냉방 초기 시간이 크게 감소하도록 소형 이동식 모듈주택의 냉방성능 실험장치를 구성하였다.

Fig. 4는 소형 이동식 모듈주택에 냉수를 공급하기 칠러냉각기를 나타낸다. 그리고 Fig. 5는 소형 이동식 모듈주택 내부의 공기온도 컨트롤러와 온도센서를 나타낸다. Fig. 4에 나타낸바와 같이 칠러냉각기를 설치하여 소형 이동식 모듈주택 내부 공간에 존재하는 공기가 보유하고 있는 열에너지를 흡수함으로써 냉방이 구현되도록 실험장치를 구성하였다. 이와 같이 칠러냉각기에 생산된 냉수는 소형 이동식 모듈주택 벽면에 매설된 냉수배관 내부에서 냉수가 순환하게 되고, 순환하는 냉수에 의해 소형 이동식 모듈주택 내부 공간에 존재하는 공기에 열에너지를 흡열함으로써 냉방이 구현되는 복사 열전달 냉방 실험장치를 구성하였다. 그리고 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 소형 이동식 모듈주택 내부에 모듈주택 벽면과 내부 공기와 냉수의 온도측정용 온도센서를 설치하여서 온도를 측정하였다.



Fig. 4 Chiller installed inside a mobile modular house



Fig. 5 Air temperature controller and temperature sensors inside a mobile modular house

Table 1 Experimental parameter and conditions

Parameter	Value (unit)
Cooling time	0~90 (min)
Flow rate of cold water	1~5 (L/min)
Temperature of cold water	0.1~25 (°C)

Table 1은 본 연구에서 수행한 실험변수와 실험 조건을 나타낸다. 실험변수는 냉방 소요시간, 냉수 유량과 냉수온도 변화에 대하여 실험을 수행하였다. 냉방 소요시간은 0~90분의 범위에서, 냉방 초기에는 2분 간격으로 실험을 수행하고 10분 후 부터는 5분 간격으로 실험을 수행하였다. 냉수유량은 1~5 L/min 범위에서 실험을 수행하였으며, 냉수온도는 0.1~25 °C 범위에서 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 6은 소형 이동식 모듈주택의 이론 냉방성능과 실험냉방성능 비교한 값을 나타낸다. 냉수가 흡수한 냉방성능은 식 (1)에 의해 구했다.

$$P_c = \dot{m}_c C_{p_c} (T_{c,2} - T_{c,1}) \quad (1)$$

여기서 P_c 는 칠러냉각기가 냉수에서 열에너지를 흡수한 냉방성능(W)을 나타낸다. 그리고 \dot{m}_c 는 냉수배관 내부에서 유동하는 냉수의 질량유량(kg/s)을 나타내며, $T_{c,1}$ 은 냉수의 처음온도(K)를 나타내며, $T_{c,2}$ 는 냉수의 최종온도를 나타낸다. 그리고 소형 이동식 모듈주택 내부 공간에 존재하는 공기의 냉방성능은 식(2)에 의해 구했다.

$$P_a = m_a C_{p_a} (T_{a,2} - T_{a,1})/t \quad (2)$$

여기서 P_a 는 소형 이동식 모듈주택 내부 공기의 냉방성능(W)을 나타낸다. m_a 는 소형 이동식 모듈주택 내부의 공기 질량(kg)을 나타내며, $T_{a,1}$ 은 이동식 모듈주택 내부 공기의 처음온도(K)를 나타내며, $T_{a,2}$ 는 공기의 최종온도를 나타낸다. 그리고 t 는 냉방 가동시간(min)을 나타낸다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 칠러냉각기가 냉수에서 흡수한 냉방성능(W)과 소형 이동식 모듈주택 내부 공간에 존재하는 공기의 냉방성능은 ± 3%에서 잘 일치하였다.

그러므로 본 연구의 소형 이동식 모듈주택의 냉방성능 실험결과는 신뢰성이 확보된 것으로 사료된다.

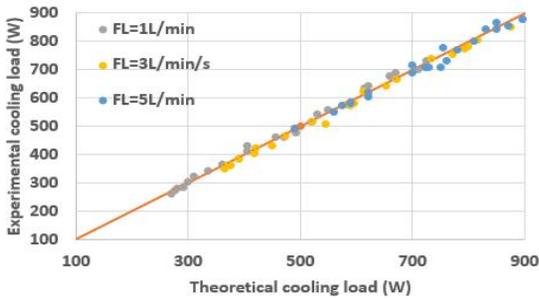


Fig. 6 Theoretical cooling performance and experimental cooling performance of small mobile modular house

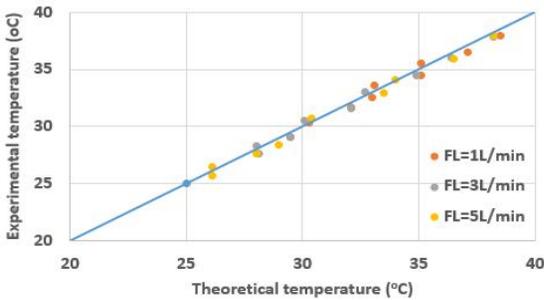


Fig. 7 Theoretical air temperature and experimental air temperature

Fig. 7은 소형 이동식 모듈주택의 이론 공기온도와 실험 공기온도 비교한 값을 나타낸다. 소형 이동식 모듈주택의 이론 공기온도는 식 (3)에 의해 구했다.

$$T_{b,2} = \frac{Q_a}{m_a C_{p,a}} + T_{a,1} \quad (3)$$

여기서 Q_a 는 소형 이동식 모듈주택 내부 공간에 존재하는 공기가 잃은 열량(J)를 나타낸다. 그리고 m_a 는 소형 이동식 모듈주택 내부 공간에 존재하는 공기의 질량(kg)을 나타낸다. 그리고 실험 공기온도는 Pt 100Ω 온도센서를 소형 이동식 모듈주택 내부 공간에 설치하여 공기온도를 측정하였다. Fig. 7에 나타난 바와 소형 이동식 모듈주택 내부 공간에 존재하는 공기의 이론 공기온도와 실험 공기온도는 ±3%에서 잘 일치하였다. 그러므로 본 연구의 실험결과 값과 이론결과 값은 잘 일치하였

다. Fig. 8은 소형 이동식 모듈주택의 벽면에 매설된 냉수배관 내부에서 유동하는 냉수의 유량변화에 대한 냉수의 온도변화를 나타낸다.

Fig. 8에 나타난 바와 같이 냉수배관 내부에 유동하는 냉수의 유량은 1L/min, 3L/min, 5L/min의 조건에서 실험을 수행하였다. 냉수배관 내부에 유동하는 냉수의 온도는 가동시간에 비례하여 감소하였다. 그리고 냉수배관 내부에 유동하는 냉수의 질량유량이 증가할수록 냉수의 온도 감소구배는 증가하였다. 그러므로 냉수의 유량이 증가할수록 냉수의 대류열전달계수의 증가에 의해 냉방성능이 증가로 인하여 냉수의 온도감소 구배가 큰 것으로 사료된다. Fig. 9는 소형 이동식 모듈주택의 냉방시간 경과에 대한 벽면의 온도변화를 나타낸다. Fig. 9에 나타난 바와 냉방의 초기 가동시간에는 벽면 열전도에 의한 냉방성능이 높은 나타났다. 그러므로 소형 이동식 모듈주택 벽면의 온도구배는 크게 나타났다.

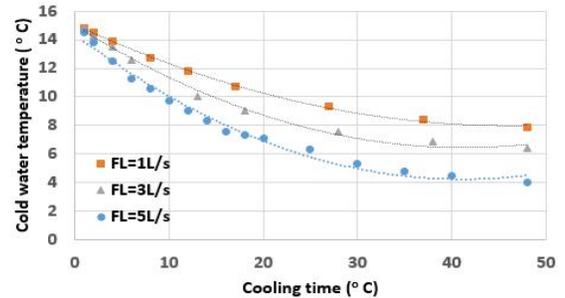


Fig. 8 Changes in the temperature of the cold water flowing in the cold water pipe

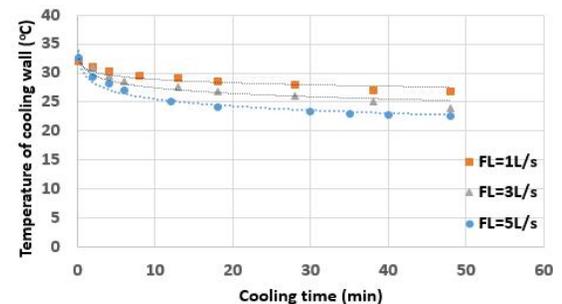


Fig. 9 Temperature change on the wall of small mobile house

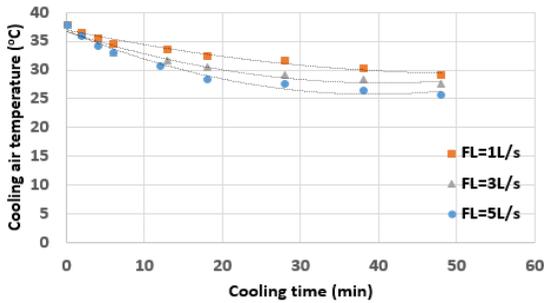


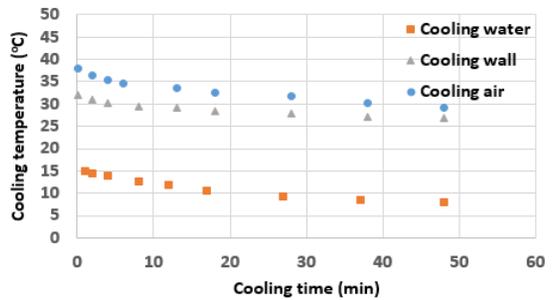
Fig. 10 Temperature change on the air of small mobile house

그리고 냉방 가동 초기 시간 소요 후부터 가동시간에 비례하여 소형 이동식 모듈주택의 벽면 온도는 선형적으로 감소하였다. 그리고 냉수배관 내부에 유동하는 냉수의 유량 증가에 비례하여 소형 이동식 모듈주택 벽면의 온도는 감소하였다. 이와 같은 실험결과로부터 소형 이동식 모듈주택의 냉방은 정상적으로 복사열전달에 의한 냉방이 구현되는 것으로 사료된다. 그리고 냉수의 유량의 증가에 비례하여 냉방성능이 증가하는 것으로 사료된다.

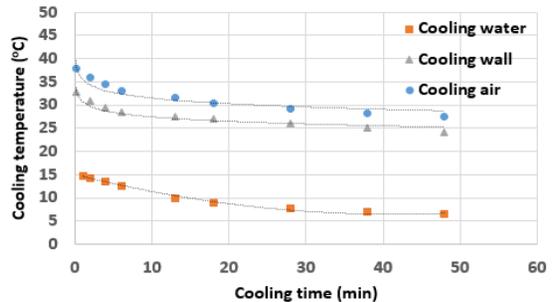
Fig. 10은 소형 이동식 모듈주택의 냉방 가동시간 경과에 대한 소형 이동식 모듈주택 내부 공기의 온도 변화를 나타낸다. Fig. 10에 나타난 바와 같이 냉방의 초기 가동시간에는 공기의 자연대류열전달이 높게 나타났다. 그러므로 소형 이동식 모듈주택 내부 공간에 존재하는 공기의 온도구배는 크게 나타났다. 그리고 냉방 가동 초기 시간 소요 후부터 가동시간에 비례하여 소형 이동식 모듈주택의 공기 온도는 선형적으로 감소하였다. 그리고 냉수배관 내부에 유동하는 냉수의 유동의 증가에 비례하여 소형 이동식 모듈주택 내부 공기의 온도는 비례적으로 감소하였다. 이와 같은 실험결과로부터 소형 이동식 모듈주택의 냉방은 자연대류열전달에 의해 냉방이 구현되며, 이와 같이 자연대류열전달에 의해 냉방이 구현되므로서 건강에 유익한 웰빙 냉방이 구현되는 것으로 사료된다.

Fig. 11은 소형 이동식 모듈주택 냉방 가동시간경과에 대한 소형 이동식 모듈주택의 벽면, 내부 공기의 온도변화와 냉수배관 내부에 유동하는 냉수의 온도 변화를 나타낸다. Fig. 11에 나타난 바와 같이 냉수배관 내부에 유동하는 냉수의 유량은 1L/min, 3L/min, 5L/min의 조건에서 실험을 수행하였다. 소형 이동식

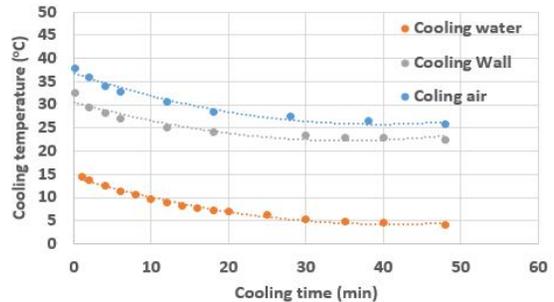
모듈주택 벽면 내부의 냉수배관에 유동하는 냉수가 소형 이동식 모듈주택 벽면으로부터 전도열전달에 의해 열에너지가 흡수되었다. 그리고 소형 이동식 모듈주택 벽면으로부터 자연대류열전달에 의한 냉방이 구현되어서 냉방 열전달면적이 기존 냉수패널에 의한 바닥에 국한된 열전달면적보다 2배가 증가되었다. 그러므로 가동 초기에 냉방 온도감소율이 2배 이상 증가되었다. 그러므로 냉방 열전달면적 증가에 의해 초기 온도감소율이 크게 증가된 것으로 사료된다.



(a) Cold water flow rate = 1L/min



(b) Cold water flow rate = 3L/min



(c) Cold water flow rate = 5L/min

Fig. 11 The change in the temperature of cold water with respect to the change in the flow rate of cold water

4. 결 론

본 연구에서 소형 이동식 모듈주택 내부에 칠러냉각기를 설치하여서 냉수를 생산하고, 소형 이동식 모듈주택 벽면에 냉수배관을 매설하여서 냉수배관 내부에 유동하는 냉수가 소형 이동식 모듈주택의 내부 공간에 존재하는 공기가 보유하고 있는 열을 흡수함으로써 냉방이 구현되는 냉방시스템의 냉방성과 냉방 온도분포를 연구하여 아래와 같은 연구결과를 도출하였다.

1. 소형 이동식 모듈주택 내부 공간에 존재하는 공기의 이론 공기온도와 실험 공기온도는 $\pm 3\%$ 에서 잘 일치하였다.
2. 칠러냉각기가 냉수에서 흡수한 냉방성능(W)과 소형 이동식 모듈주택 내부 공간에 존재하는 공기의 냉방성능은 $\pm 3\%$ 에서 잘 일치하였다.
3. 냉수배관 내부에 유동하는 냉수의 질량유량이 증가할수록 냉수의 온도 감소구배는 증가하였다.
4. 냉방 가동 초기 시간 소요 후부터 가동시간에 비례하여 소형 이동식 모듈주택의 공기 온도는 선형적으로 감소하였다. 그리고 냉수배관 내부에 유동하는 냉수의 유동의 증가에 비례하여 소형 이동식 모듈주택 내부 공기의 온도는 비례적으로 감소하였다.
5. 소형 이동식 모듈주택 벽면으로부터 자연대류열 전달에 의한 냉방이 구현되어서 냉방 열전달면적이 기존 냉수패널에 의한 바닥에 국한된 열전달 면적보다 2배가 증가되었다.

REFERENCES

1. Cho, H., Kim, C. S., Lee, J. G., Seo, T. B., Ro, S. K., "A study on ther development of enviromnetal control system applicable to ultra-nano precision machine", Ther Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 1. pp, 116-116, 2020.
2. Lee, S. H., Lee, D. R., "Flow Analysis of the Impeller with different Inlet Angle in the Centrifugal Pump", Journal of computational fluids engineering, Vol. 21, No. 1, pp. 58-63, 2016.
3. Lee, S. H., Moon, H. J., Hue, S. B., Choi, S. D., "Development of LED Module Control-based PWM Current for Control of Heat-dissipation," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 6, pp. 129-135, 2015.
4. Sohn, I. S., Lee, J. G., "A Study of Electrical Control Kit for Damping Force of Automotive Shock Absorber," Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 3, pp. 1-6, 2008.
5. Cho, J. U., Han, M. S., "Analysis of Fatigue Damage at Wheel under Variable Load," Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 19, No. 6, pp. 753-759, 2010.
6. Lee, J. J., Kim, H. K., Hyun, B. S., "The Correlation of Satellite Thermal Mathematical Model using Results of Thermal Vacuum Test on Structure-Thermal Model," Journal of Korean Society of Aeronautical and Space Sciences, Vol. 37, No. 9, pp. 917, 2009.
7. Jang, H., Suh, J. S., Yi, C. S., "A Study on the radiant Heat Characteristic According to Type and Array of LED Lighting Heatsink," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 3, pp. 54-60, 2013.
8. Jo, D. O. and others, "A Study on Development of Korean District Heating System in Apartment of Korean District Heating System in Apartment Building," Korea Institute of Construction Technology and Korea District Heating Corporation, 2007.
9. Cho, Y. T., Lee, C. H., "Performance Evaluation of Heat Radiant for 50W LED by the CNT Thermal Interface Material," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 6, pp.23-29, 2014.
10. Kim, H. J., "Experimental Study on Thermal Analysis of Steering Control ECU Structure for Electric Vehicles," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 5, pp. 113-119, 2015.
11. Noh, J. H., Kwak, D. B., and Yook, S. J., "Effects

of wall thickness and material property on inverse heat conduction analysis of a hollow cylindrical tube,” Inverse Problems in Science and Engineering, Vol. 26, No. 9, pp. 1305-1325, 2018.

12. Lee, D. W., “Fluid Structure Interaction ANSYS CFX 10.0”, Journal of Korea Society for Fluid Machinery (KSFM), pp. 627-635, 2005.
13. Yi, C. S., Lee, B. H., Chin, D. H., “Numerical Analysis on the Thermal and Fluid in Air Conditioning Duct for Marine Offshore”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 5, pp. 23-29, 2018.