

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 19, No. 3, 1999

상변화형 미세캡슐을 함유한 축열블럭의 열성능 특성

이동규*, 천원기**, 강용혁***, 곽희열***

- * 제주대학교 대학원
- ** 제주대학교 에너지공학과
- *** 한국에너지기술연구소

Thermal Performance of the Storage Brick Containing Microencapsulated PCM

D. G. Lee*, W. G. Chun**, Y. H. Kang***, H. Y. Kwak***

- * Graduate School, Cheju National University
- ** Department of Nuclear and Energy Engineering, Cheju National University
- *** Korea Institute of Energy Research

요 약

본 논문에서는 난방용 축열보드에 응용하기 위해서 미세캡슐을 함유한 축열블럭의 열성능 특성을 조사하였다. 상변화 물질인 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 를 미세캡슐 형태로 제조하였고 미세캡슐 함유량이 각각 10%, 20%가 되도록 시멘트 몰타르와 혼합하여 축열블럭을 제작하였다. 축열블럭의 축열 및 방열 특성을 분석하기 위하여 유량과 유입 냉각 온도를 변화시켰다.

실험결과를 보면 미세캡슐 함유량이 증가할 수록 블럭에 축열되는 축열량은 증가를 하였고 방열시간도 증가를 하였다. 그리고 방열과정시 유량이 증가하고 유입 냉각온도가 감소함에 따라 방열시간은 감소하였다.

순수블럭(0% 미세캡슐 함유량)은 방열과정시 총괄 열전달 계수는 시간에 따라서 일정하게 유지를 하지만 축열블럭에서는 시간이 지남에 따라 증가를 하였다.

ABSTRACT

The thermal performance of storage brick, containing microencapsulated PCM(phase change material), was investigated for utilization as a floor heating system. Sodium acetate trihydrate($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) was selected for the PCM and was encapsulated. The thermal storage brick was manufactured with mixing cement mortar having 10%, 20% PCM contents, respectively.

Four different flow rates and three different cooling temperatures was used in this work for analyzing the heat charging and discharging characteristics of the thermal storage brick.

The result showed that cycle time was shortened as the PCM content was increased and as the mass flow rate was increased. The same effect was obtained when the cooling temperature was decreased. For each thermal storage brick the overall heat transfer coefficient(U-value) was constant for a 0% brick, but was increased with time for the bricks containing microencapsulated PCM.

1. 서론

열에너지 저장에는 현열에너지 저장과 잠열에너지 저장이 있는데, 현열 저장에 비해 잠열 저장은 에너지 저장 밀도가 크기 때문에 축열시스템의 부피를 크게 줄일 수 있고, 거의 일정한 온도에서 열에너지를 저장하고 회수할 수가 있으므로 과열현상을 막아 외부로의 열손실을 줄이고 온도 제어 장치없이 시스템의 온도를 거의 일정하게 유지 할 수 있는 장점을 갖고 있다.^{1,2)}

그러나 잠열시스템은 시스템의 사용 온도에 따라서 적당한 상변화 물질의 선택이 필요하고 이러한 상변화 물질은 거의가 과냉도의 크기, 가역성, 부식성, 화학적 안정성 및 제품의 원가 등의 여러 가지 문제점을 갖고 있는 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 상변화 물질을 구형의 미세캡슐화를 시키는 방법이 주목을 받고 있다. 최근에는 기술의 발달로 인하여 지름이 1mm이내의 얇은 구형 막으로 상변화 물질을 코팅시키는 기술이 개발되었다. 상변화 물질의 미세캡슐화로 인하여 전열면적이 커지므로

축열 및 방열에 대한 응답성이 향상되고 수분의 증발과 상분리를 억제하는 효과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점은 기존의 bulk형태의 PCM을 이용한 축열시스템의 문제점으로 지적된 사항들을 개선해 주고 응용의 다양화를 이룰 수 있다. 현재 축열시스템에 상변화 물질의 응용은

Table 1. Thermodynamic properties of the microencapsulated PCM

용융점	58 °C
직경	2.65 mm
잠열	272.44 kJ/kg
비열(고체)	2.79 kJ/kg · °C
비열(액체)	3.68 kJ/kg · °C
열전도도(고체)	0.55 W/m · °C
밀도(고체)	1.45 g/cm ³
과냉각 온도	10°C
결정성장 속도	2.4 mm/sec

bulk형태의 PCM을 이용한 축열시스템들이 주를 이루고 있으나 미세캡슐화한 PCM의 응용분야는 아직까지 연구단계에 머물러 있는 실정이다.^{3),4)}

본 연구에서는 미세캡슐화한 PCM을 시멘트 몰타르와 혼합하여 건물의 바닥난방에 적용가능한지 그 열성능 특성을 규명하고자 하였다.

Table 1은 본 연구에 사용된 상변화 물질(CH₃COONa · 3H₂O)의 열역학적 특성을 보여준다.

2. 실험장치

2.1 축열보드 모듈

제조된 상변화형 미세캡슐의 열물성 및 전열특성을 실험하기 위하여 제작된 축열블럭은 미세캡슐과 시멘트 몰타르를 균일하게 혼합하여 50×50×300mm의 크기로 제작하였다. 그리고 미세캡슐 함유량에 따른 축열용량과 방열특성을 관찰하기 위해서 서로 다른 체적비(0, 10, 20%)를 갖는 3개의 축열블럭을 제작하였고 열전달 유체는 액체(물)이고 열전도도가 우수한 구리관(φ 6.35mm)을 통해서 흐르도록 하였다. 그리고 구리관은 축열블럭의 정중앙을 관통하도록 설치하였다.

2.2 실험 장치

Fig. 1은 축열블럭의 열성능 시험을 위한 실험장치도를 보여주는 그림이다. 실험장치는 항온 챔버의 일정온도를 유지하기 위해서 HVAC부분을 설정했고 축열과 방열시험을 위해서 입구온도를 다양하게 변화시킬 수 있는 Heating & Refrigerating Circulator를 설치했다. 그리고 test section은 상변화 미세캡슐 함유량이 각각 20%, 10%, 0%인 축열블럭을 나란하게 설치하였고, 축열블럭으로 공급되는 유량을 측정하기 위해서 Float ball type 유량계를 설치하여 다분배 기관에서 분배되는 유량을 Needle valve를 사용하여 조절하도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

미세캡슐을 함유한 축열블럭의 열성능 평가를 위한 실험에서 축열블럭의 주기(cycle time)에 영향을 주는 주요 변수로 미세캡슐 함유량, 유량, 방열시 유입냉각온도로 설정하여 이러한 변수에 대해서 축열블럭의 축열 및 방열 성능, 총괄 열전달 계수(overall heat transfer coefficient), 유효도(effectiveness)를 평가하였다.

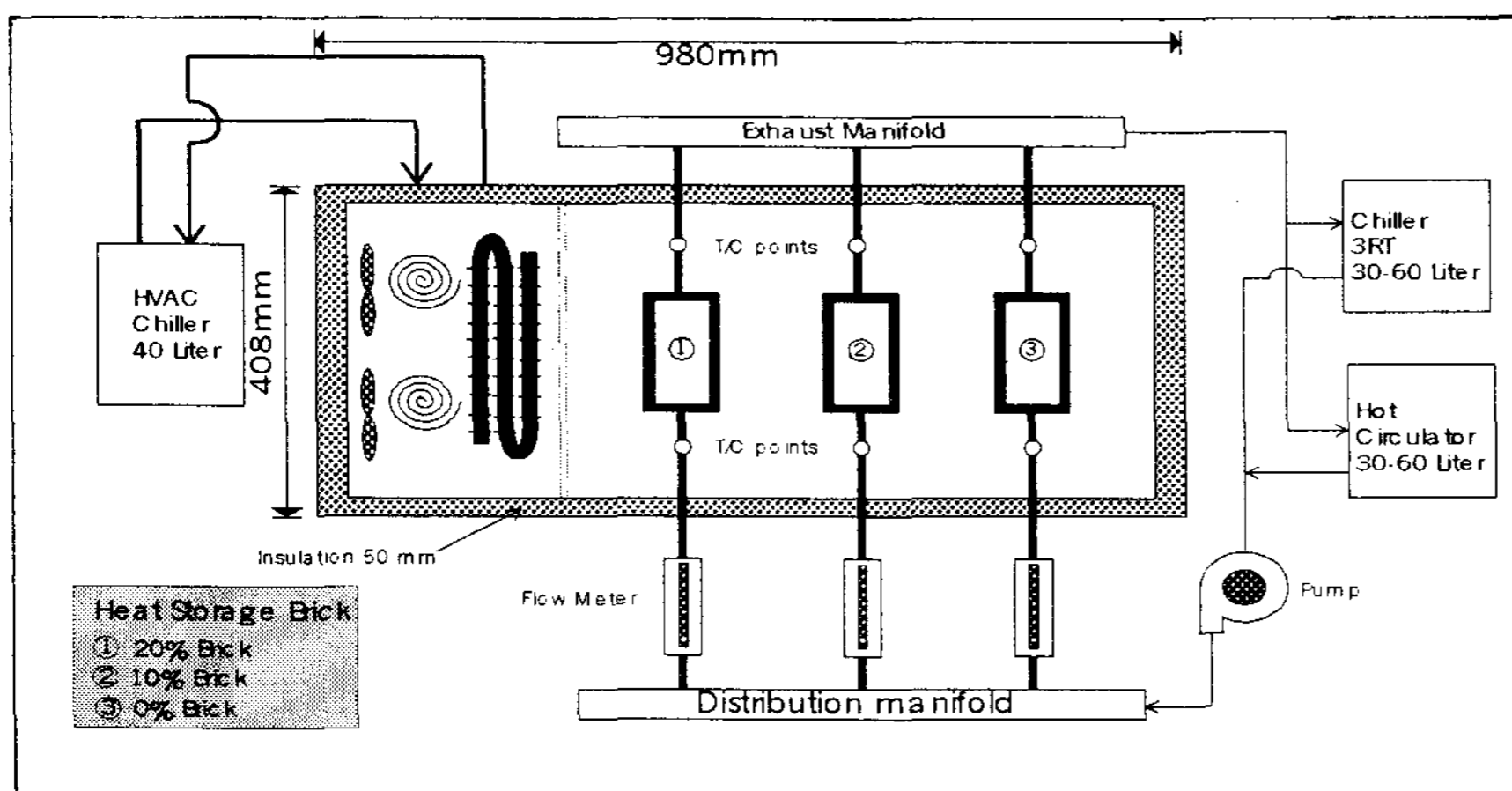


Fig. 1. Schematic diagram of test facilities

3.1 축열블럭의 축열 및 방열 특성

미세캡슐 함유량은 경제성 및 사용목적에 따른 기계적 강도 등을 고려하여 0%, 10%, 20%로 설정하였다.

Fig. 2는 유량이 0.3 l/min이고 축열과정시 입구 온도는 70°C, 방열과정시 입구온도가 15°C인 경우 축열블럭 표면(w=25mm)의 온도변화를 나타내고 있다. 축열과정시 20%인 경우가 정상상태 도달 시간이 제일 길었다. 정상상태 온도도 미세캡슐을 함유하지 않은 블럭과 비교해 볼 때 낮게 유지됨을 알았다. 이러한 결과는 미세캡슐을 바닥 난방에 적용시, 기존의 현열 이용식 바닥난방의 문제가 되는 특정 부분의 과열현상을 방지할 수 있고 온도분포가 구리관 반경방향으로 균일하게 분

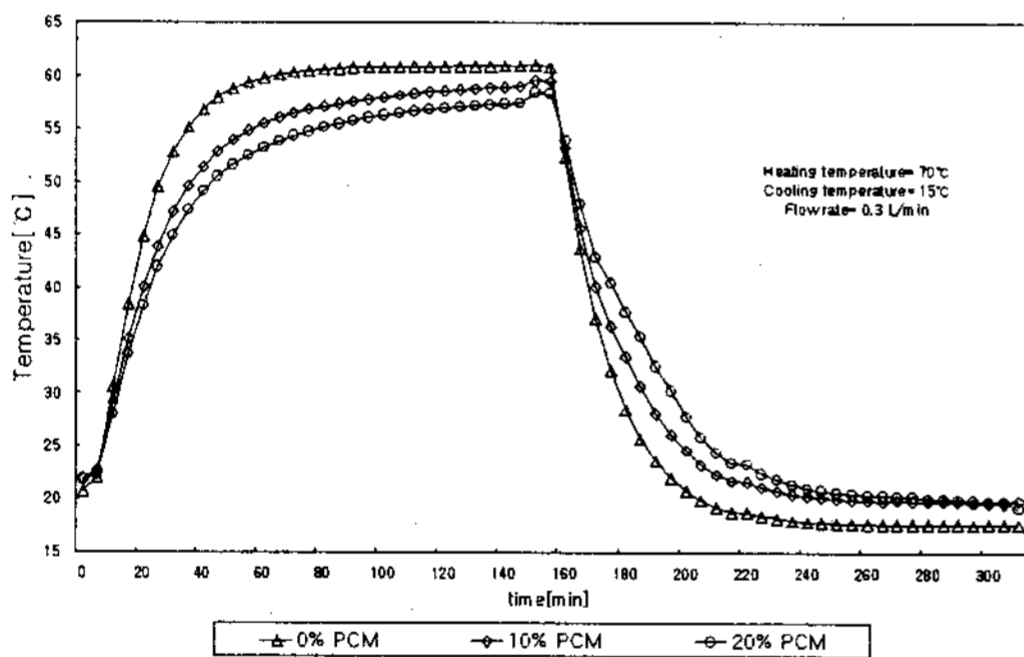


Fig. 2. Surface temperature variation of the thermal storage brick

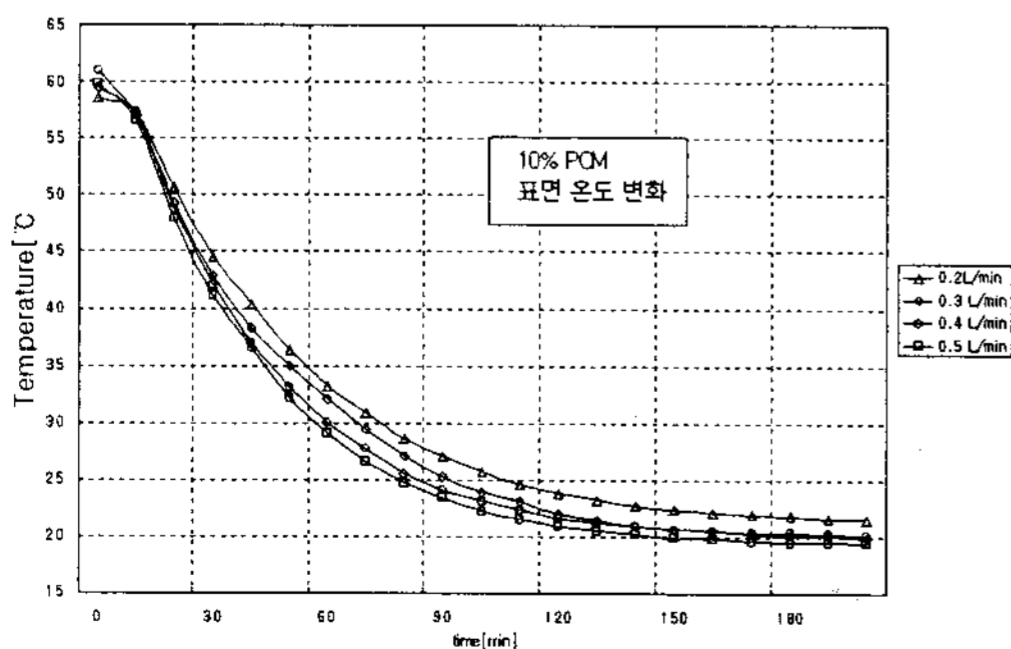


Fig. 3. Surface temperature variation for different mass flow rates

포시킬 수 있을 것으로 사료되었다.

Fig. 3은 방열과정시 유입 냉각 온도가 15°C이고 미세캡슐 함유량이 10%인 축열블럭이 유량변화에 대한 온도변화를 보여주고 있다. 유량이 증가할수록 열전달 유체의 열전달 계수의 증가로 인하여 열회수 기간이 짧아져 방열시간이 감소하였다. 특히, 유량이 0.4 l/min일 때와 0.5 l/min일 때는 거의 주기 시간과 온도분포에 있어서 차이를 보여주지 않았다.

Fig. 4는 축열과정시 입구온도가 70°C, 유량이 0.2 l/min인 조건에서 방열과정시 유입냉각온도에 따라서 미세캡슐 함유량이 20%인 축열블럭 표면온도변화를 보여주고 있다. 열전달 매체의 유

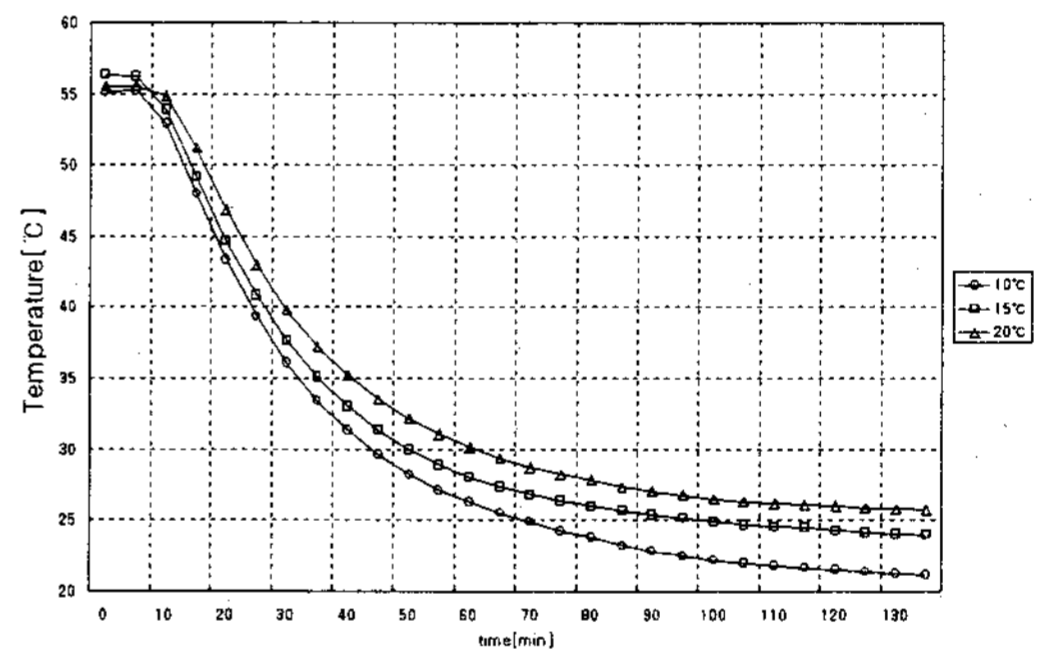


Fig. 4. Surface temperature variation of the thermal storage brick for different cooling temperatures

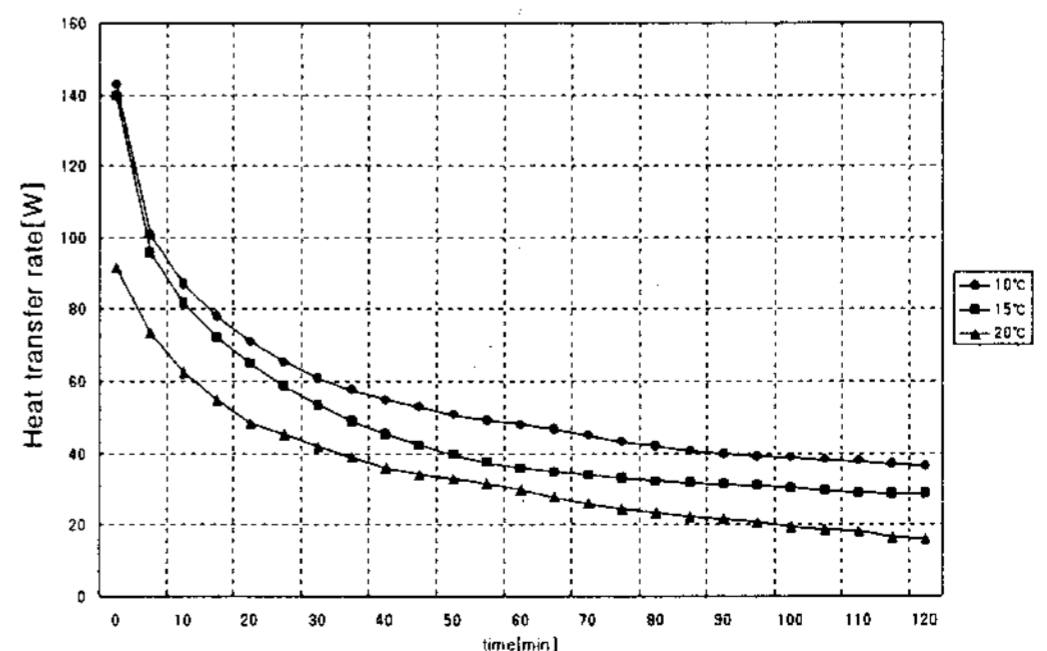


Fig. 5. Heat transfer rate for different cooling temperatures during discharging process

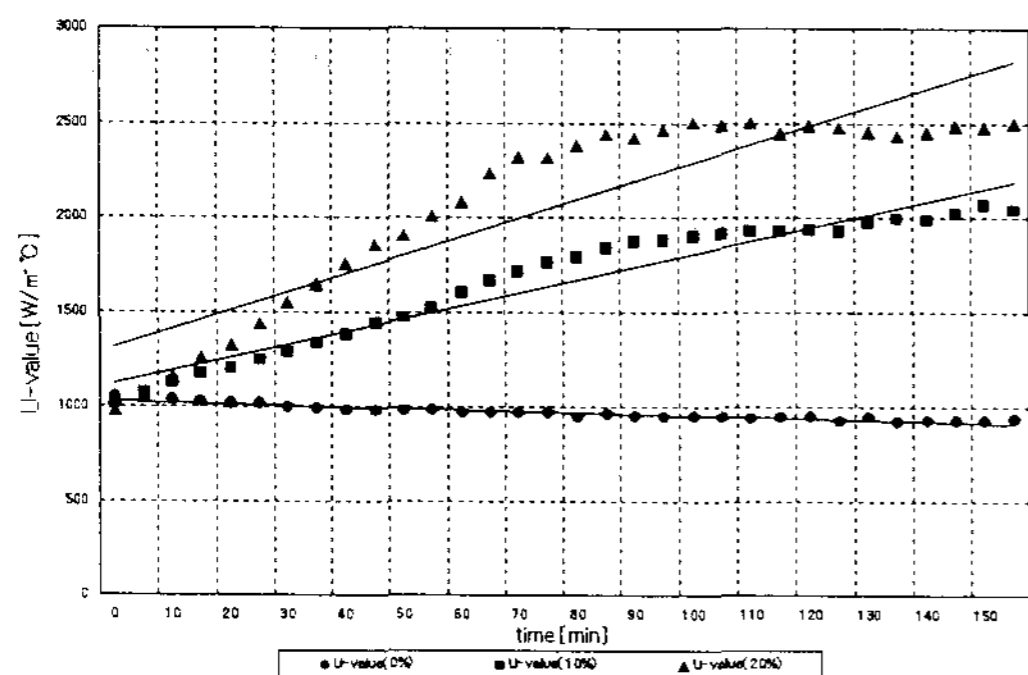


Fig. 6. U-value with time for different PCM concentrations

입냉각 온도가 낮을 수록 온도강하가 빨랐고 시간이 지남에 따라 각각의 온도차는 증가를 하였다. 이런 결과로 보아 축열블럭의 유입냉각온도를 낮게 유지함으로써 해서 방열 주기를 줄일 수 있다.

Fig. 5는 방열과정시 시간에 따른 열전달 유체가 축열블럭으로부터 회수하는 열전달율을 나타내고 있다. 미세캡슐 함유량이 증가할수록 방열에 너지는 증가하였다. 그리고 방열기간 초기에 열전달율은 각 축열블럭에 대해서 비슷하게 열을 방출하나 시간이 지남에 따라 미세캡슐 함유량이 다른 축열블럭들 사이에서 열전달율은 차이를 보였다. 이러한 사실은 캡슐이 방출하는 잠열을 열전달 매체가 감지하기 위해서는 일정시간이 경과해야되기 때문이다.

3.2 총괄 열전달 계수와 유효도

Fig. 6은 유입냉각온도가 15°C, 유량이 0.3 l/min인 실험조건에서의 총괄 열전달 계수(U값)의 변화를 보여주고 있다. 총괄 열전달 계수는 축열블럭을 가로지르는 구리관 온도와 열매체 입출구 온도에 의한 LMTD 방법을 사용하였다. 순수블럭(PCM 함유량:0%)은 시간이 경과해도 일정한 U값을 유지하는 반면에 미세캡슐을 함유한 축열블럭은 시간에 따라 증가하는 경향을 보여주었다.

Fig. 7은 미세캡슐 함유량에 따른 유효도(effectiveness)를 보여주고 있다. 유효도는 총괄

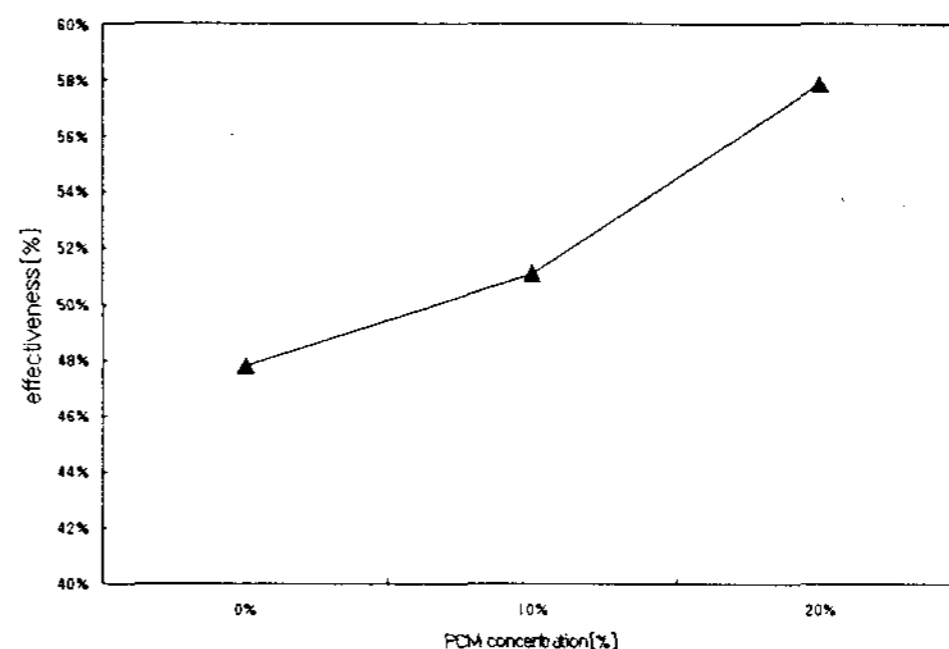


Fig. 7. Average effectiveness with PCM concentration

열전달계수에 비례하므로, 미세캡슐 함유량이 증가할수록 유효도는 증가하는 경향을 보였고 이는 축열량이 증가함을 의미한다. 순수블럭과 PCM 함유량 10%인 블럭과의 유효도 차이는 3.3%이고 20%블럭과의 차이는 10.1%를 나타내었다.

4. 결론

미세캡슐 함유량이 다른 4개의 축열블럭의 축열 및 방열 특성 실험을 수행한 결과는 다음과 같다.

1. 축열블럭의 축열 및 방열시간(cycle time)은 미세캡슐 함유량이 증가함에 따라 증가하고 유량이 증가할 수록 감소를 하였다. 그리고 방열과정시 유입 냉각온도가 낮을 수록 주기는 감소를 하였다.
2. 상변화형 미세캡슐을 함유한 축열블럭은 축열과정시 과열현상을 방지하고 방열과정시 미세캡슐 내에서의 잠열 방출로 인하여 균일한 온도분포를 나타내었다.
3. 총괄 열전달 계수(U-value)는 미세캡슐 함유량이 0%인 블럭에서는 시간에 따라 일정한 값을 유지하는 반면에 미세캡슐을 함유한 축열블럭은 시간에 따라 증가를 하였다.

4. 유효도는 미세캡슐 함유량이 0% 블럭인 경우 48%, 10%블럭인 경우51%, 20%블럭인 경우 58%를 나타내었다.

참 고 문 헌

1. A. Abhat, 1983, "Low Temperature Latent Heat Thermal Energy Storage: Heat Storage Material", Solar Energy, Vol. 30, pp.313~332.

2. Ahmet Kurklu, 1996, "Thermal performance of a tapered store containing tubes of phase change material: cooling cycle, Energy Convers. Mgmt." Vol. 38, No. 4, pp.333~340.

3. 한국에너지기술연구소, 1996, "태양에너지의 효율적 이용을 위한 상변화 물질의 미세캡슐화", 보고서, pp.111~142.

4. 조수, 손장열, 1992, "잠열저장패널이용 바닥난방공간의 실내온도분포에 관한 연구", 태양에너지, Vol. 12, No. 1, pp.59~71.