

한국에너지공학회(1998년도)

추계 학술발표회 논문집p281-286

## 상변화형 미세캡슐을 이용한 축열보드의 전열특성에 관한 연구

이동균, 강명철, 강용혁\*, 광희열\*, 윤환기\*, 유창균\*

제주대학교 대학원, \*한국에너지기술연구소

### The Thermal Characteristics of Heat Storage Board Utilizing Microencapsulated PCM

D. G. Lee, M. C. Kang,

Y. H. Kang\*, H. Y. Kwak\*, H. K. Yoon\*, C. K. You\*

Cheju national university, \*KIER

#### 요약

본 논문에서는 상변화형 미세캡슐 함유량이 다른 세 개의 축열보드의 열성능 특성에 관해서 다루었다. 상변화 물질로는  $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 를 사용했고 이러한 물질의 미세캡슐을 시멘트 몰타르와 혼합하여 축열보드를 제작하였다. 결과를 보면 상변화형 미세캡슐 함유량이 20%인 경우가 0%인 경우보다 유효도에서 10%가 더 높았고 냉각온도가 낮을 수록 주기시간은 짧아지고 방출 열량은 증가를 하였다.

#### 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 온도제어 장치

없이 시스템의 온도를 거의 일정하게 유지 할 수 있는 장점을 갖고 있다.

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

이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 상변화 물질을 구형의 미세캡슐

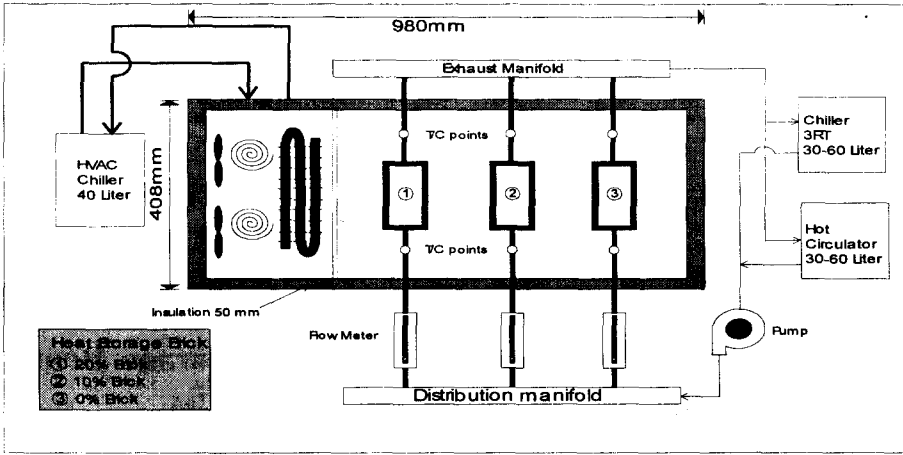


Fig. 1 Schematic diagram of test facilities

화를 시키는 방법이 주목을 받고 있다.

최근에는 기술의 발달로 인하여 지름이 1mm이내의 얇은 구형막으로 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 bulk형태의 PCM을 이용한 축열시스템들이 주를 이루고 있으나 미세캡슐화한 PCM의 응용분야는 아직까지 연구단계에 머물러 있는 실정이다.

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

Table 1은 본 연구에 사용된 상변화 물질( $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ )의 열역학적 특성을 보여준다.

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 <sup>3</sup>
과냉각 온도	10 °C
결정성장 속도	2.4 mm/sec

## 2. 실험장치

### 2.1 축열보드 모듈

제조된 상변화형 미세캡슐의 열물성 및 전열특성을 실험하기 위하여 제작된 축열보드는 미세캡슐과 시멘트 몰타르를 균일하게 혼합하여 50×50×300mm의 크기로 제작하였다. 그리고 미세캡슐 함유량에 따른 축열용량과 방열특성을 관찰하기 위해서 서로다른 체적비(0, 10, 20%)를 갖는 3개의 축열보드를 제작하였고 열전달 유체는 액체(물)이고 열전도도가 우수한 구리관

( $\phi 6.35\text{mm}$ )을 통해서 흐르도록 하였다.

## 2.2 실험 장치

Fig. 1은 축열보드의 열성능 시험을 위한 실험장치도를 보여주는 있다. 실험장치는 항온챔버의 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 축열보드를 나란하게 설치하였고, 축열보드로 공급되는 유량을 측정하기 위해서 Float ball type 유량계를 설치하여 다분배기관에서 분배되는 유량을 Needle valve를 사용하여 조절하도록 하였다.

## 3. 실험 결과 및 분석

미세캡슐을 함유한 축열보드의 열성능 평가를 위한 실험에서 축열보드의 주기시간(cycle time)에 영향을 주는 주요변수로 미세캡슐의 함유량, 방열시 냉각온도로 설정하여 이러한 변수에 대해서 축열보드의 축열 및 방열 성능을 평가하였다.

### 3.1 미세캡슐 함유량에 따른 축열 및 방열 특성

미세캡슐 함유량은 무한히 증가할 수 없고 함유량이 증가할수록 블록의 기계적 강도 문제가 야기되므로 함유량은 20%로 제한하였다. Fig. 2는 축열과정과 방열과정시 각 축열보드의 표면온도를 보여주는 있다. 결과 그림을 보면 축열과정시 미세캡슐 함유량이 20%인 경우가 정상상태 도달 시간이 제일

길었다. 이러한 경향은 미세캡슐 함유량이 증가할수록 미세캡슐에 열을 저장하는 시간을 필요로 하기 때문이다. 방열과정도 축열과정과 마찬가지로 캡슐함유량이 증가할수록 방열시간이 길어졌다. 이는 축열과정과는 반대로 미세캡슐이 갖고있는 잠열 방출에 의한 현상이다.

Fig. 3은 열전달 유체가 흐르는 구리관의 반경방향에 따른 온도변화와 U값을 보여주는 있다. 구리관 표면과 내부 사이의 온도구배가 내부와 표면사이의 온도구배 보다 크다. 그리고 0%보드와 20%보드 사이의 온도구배를 살펴보면 20%보드가 0%보드보다 온도구배가 심하다는 것을 알 수 있고 이러한 현상은 20%축열보드가 0%축열보드보다 열전달을 촉진하는 결과를 가져온다. U값의 변화를 보면 축열보드 내부의 열저항이 매우 큼을 알 수 있다. 일반적으로 미세캡슐을 함유함으로써 해서 열전도도의 저하를 가져올 수 있으나 결과 그림에서 보여지듯이 0%보드와 10%보드를 비교해 볼 때 구리관 표면과 축열보드 내부 사이의 U값의 구배는 거의 비슷하고 20%보드인 경우 이 보다는 조금 높았다. 이러한 결과로 보아 캡슐을 함유함으로써 해서 열전도도에서의 문제는 없는 것으로 사료된다.

Fig. 4는 방열과정시 시간변화에 대한 열전달 유체가 축열보드로부터 회수하는 열전달율을 보여주고 있다. 이러한 열전달율은 미세캡슐 함유량이 증가할수록 방열에너지가 증가하였다.

Fig. 5는 미세캡슐 함유량에 따른 유효도(effectiveness)를 보여주는 있다. 유효도는 어떤 축열매체에 최대로 축열 가능한 에너지량에 대한 실제로 이용 가능한 에너지량으로 정의된다. 미세캡

술 함유량이 증가할수록 유효도는 증가하는 경향을 보이고 0%보드와 10%보드와의 차이는 3.3%이고 20%보드와의 차이는 10.1%를 나타내었다.

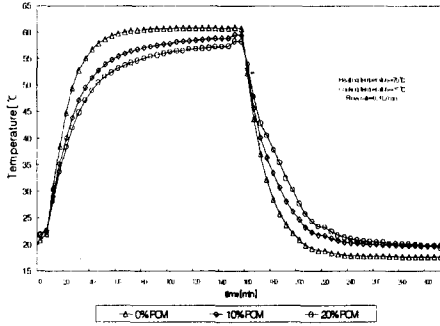


Fig. 2. Surface temperature variation of the thermal storage board

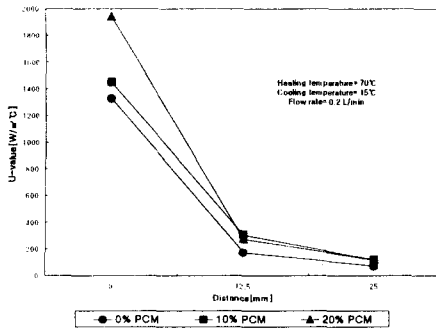


Fig. 3. U-value with pipe radial distance

### 3.2 냉각온도 변화에 따른 방열특성

축열시스템의 에너지를 사용하기 위해서는 열을 회수하는 매질이 필요하고 열을 회수하는 과정에서 열전달율은 매질의 유입온도에 따라서 다르게 나타난다. 그래서 방열 과정시 열전달매체의 유입 냉각온도를 10°C, 15°C, 20°C에 대해서 실험을 수행하였다.

Fig. 6은 열전달 매체의 유입 냉각온

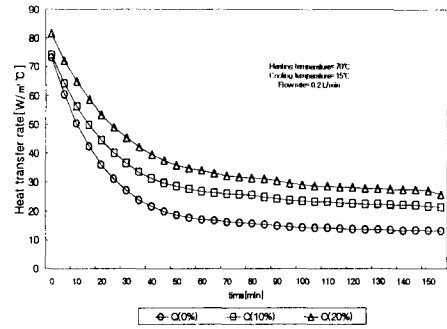


Fig. 4. Heat transfer rate for different PCM concentrations

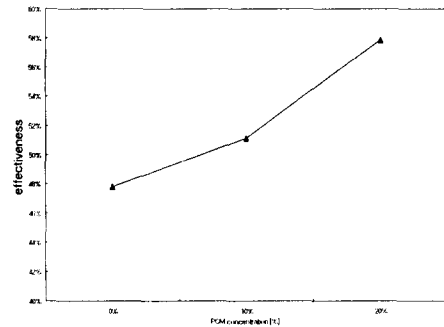


Fig. 5. Average effectiveness with PCM concentrations

도에 따른 축열보드 표면 온도를 보여 주는 있다. 결과 그림을 보면 열전달매체의 냉각온도가 낮을수록 온도강하는 빨랐다. 이런 결과로 인하여 축열보드 냉각 온도를 낮게 유지함으로써 해서 주 기시간을 줄일 수 있다.

Fig. 7은 냉각 온도변화에 따른 열전달율을 나타내고 있다. 냉각 온도가 낮을수록 열전달율이 높게 나타났다. 즉, 열전달매체의 냉각온도를 낮게 유지함으로써 해서 축열보드로부터 열을 회수하는 양이 증가하게 된다. 또한 회수 시간이 빠르므로 미세캡슐이 같은 시간당 여러번 상변화 과정을 거듭할 수 있다.

Fig. 8은 열전달매체의 냉각온도와 미세캡슐 함유량에 따른 U값과 유효도를 보여주는 있다. 20% 축열보드인 경우 열전달 매체의 냉각 온도가 높을수록 U값은 감소를 하였으나 10% 축열보드인 경우 냉각온도가 10°C인 경우 보다 15°C인 경우가 U값이 오히려 더 높았다. 이러한 사실로 인하여 미세캡슐 함유량에 따라서 열을 회수하는 매질의 최적온도를 결정할 수 있었다. 유효도도 U값이 변하는 경향과 마찬가지로 미세캡슐 함유량이 20%이고 냉각온도가 10°C일때 63%로 가장 높았다.

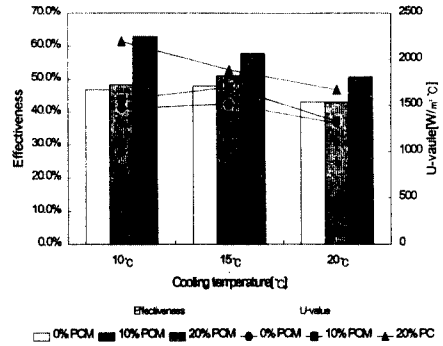


Fig. 8. Effectiveness and U-value with cooling temperature

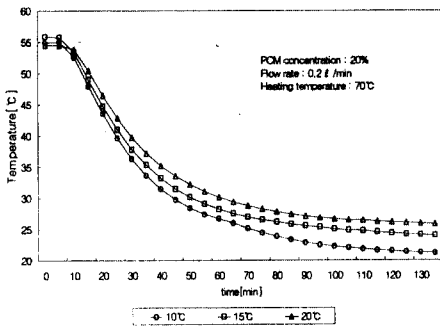


Fig. 6. Surface temperature variation of the thermal storage board for different cooling temperatures

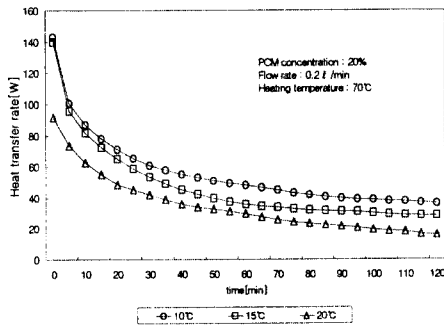


Fig. 7. Heat transfer rate for different cooling temperatures

#### 4. 결론

미세캡슐을 함유한 난방용 축열보드의 축열 및 방열 시험은 각각 미세캡슐 함유량이 다른 3개의 축열보드에 대해서 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 미세캡슐 함유량이 증가함에 따라 축열 및 방열 시간은 증가하고 방출열량도 증가를 하였다.
2. 미세캡슐 함유량이 증가할수록 유효도는 증가하고 0%보드인 경우 48%, 10% 보드인 경우 51%, 20%보드인 경우 58%로 나타났다.
3. 열전달매체의 냉각온도가 낮을수록 주기 시간은 짧아지고 방출열량은 증가를 하였고 냉각온도가 10°C인 경우와 20°C인 경우 방열량에서 44Wh의 차이를 보였다. 또한 냉각온도가 낮을수록 미세캡슐 함유량에 따른 방열량의 차이는 커졌다.
4. 열전달매체의 최적 냉각온도는 미세캡슐 함유량에 대해서 다르게 나타났다고 이러한 사실로 인하여 각 축열보드의 최적 냉각온도를 결정할

수 있었다.

#### 참고문헌

1. 한국에너지기술연구소: “태양에너지의 효율적 이용을 위한 상변화물질의 미세캡슐화”, 연구보고서, 111 (1996)
2. 광희열등: “미세캡슐 잠열재를 사용한 축열장판의 열성능 연구”, 공기조화냉동공학회, 978 (1998)
3. Y. Cao and A. Faghri: Int. J. Heat and Mass Transfer, 34(1), 111 (1991)