

# 상전이 마이크로캡슐 재료의 축열특성

임대우\*

## The characteristics of microencapsulated phase-change materials

Dae Woo Ihm\*

**Key Words** : phase change material, microcapsule

### ABSTRACT

The objective of this research is to investigate the thermal behavior of microencapsulated phase-change materials(MEPCM), and a shell of melamine-formaldehyde. These PCM materials were tested using DSC and thermal data station. Fabrics with enhanced thermal properties were prepared by padding the fabrics with the microcapsules containing PCM and acryl binder. The rate of temperature increase was significantly decreased as the amount of MEPCM added on the surface of the fabrics increased.

### 1. 서 론

21C 섬유산업은 섬유를 바라보는 일관된 개념에서 벗어나 감성적이고 인간친화적인 진보적 기술 창출과 섬유에 인간 생활의 편리성, 간편성, 진보성을 부가적인 기능으로 부여한 신개념의 섬유소재개발이 추구하고 있다. 일본에서는 발한감지, super 흡수, super 방출, 자기건조 등의 기능을 반복함으로써 인간의 쾌적환경을 유지할 수 있는 intelligent 섬유가 개발되어 상품화되고 있으며, 미국에서는 상전이 물질(PCM Phase Change Material)을 섬유제품에 도입시켜 상이 변화하면서 열을 방출하거나 흡수하는 과정에 의해 방한과 방열기능을 겸비한 지능형 소재가 개발되어 상품화되고 있다[1]. 국내에서도 PCM 마이크로캡슐을 의복에 코팅한제품을 코오롱등에서 판매를 하고 있지만 이러한 방한, 방열소재의 축열특성에 관한

연구보고는 아직 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 자체개발한 PCM 마이크로캡슐의 상변화 온도와 섬유에 코팅시의 상전이 온도의 차이를 DSC와 온도센서로서 비교하여 PCM 마이크로캡슐의 열적특성을 파악하려 한다.

### 2. 실험

#### 2.1 시약

자체 개발한 멜라민-포름알데히드수지를 벽막으로 갖는 마이크로캡슐(상전이 온도 28°C)과 섬유코팅용 아크릴계 바인더(.삼정화학) 이외에 여러가지 첨가제를 사용하였다.

#### 2.2 PCM 마이크로캡슐의 섬유코팅

PCM 물질이 함유된 마이크로캡슐 슬러리와 아크릴계 바인더를 물에 분산시켜 마이크로캡슐 슬러리를 각각 6, 9, 12, 15% 농도로 한 패딩(padding)액을 준비하였다. 이 패딩액에 면직물을(30s×30s) 침지시켜 wet pickup 이 100 % 되도록 맞춘 후 핀텐터(pin-tenter)에서 170°C로 4 분간 건조하였다.

\* 호서대학교 첨단기술학과

### 2.3 PCM 마이크로캡슐 및 섬유의 특성분석

PCM 마이크로캡슐의 열분석 : DSC(TA Instrument Q10)를 사용하여 PCM 마이크로캡슐을 -20°C 에서 시작하여 80°C 까지 분당 10°C 로 상승시켰으며 80°C 에서 5 분간 유지 후 같은 속도로 -20°C 까지 하강시켜 상전이 온도에 따른 용점, 결정화 온도 및 각열량을 구하였다.

PCM 마이크로캡슐의 섬유에 적용시 온도변화 측정 : PCM 마이크로캡슐이 코팅된 면직물의 온도변화를 측정하기 위하여 Figure 1 과 같은 실험장치를 사용하여 시간당 온도변화 관찰결과와 PCM 마이크로캡슐의 DSC 곡선을 비교하였다.

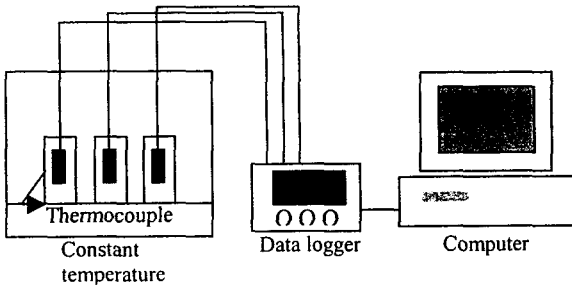


Figure 1. Schematic of the experimental apparatus for temperature measurement.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 PCM 마이크로캡슐의 열분석

자체 개발한 멜라민-포름알데히드수지를 벽막으로 갖는 마이크로캡슐의 열분석은 DSC 을 이용하여 용점, 결정화점 및 잠열을 측정하였다.

Table 1. Specifications of microcapsules

| Sample code                         | MPCM                  |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Core material                       | Octadecane            |
| Shell material                      | MF resin <sup>a</sup> |
| Weight(%) of core material          | 35                    |
| Weight(%) of nucleating agent       | 2                     |
| PCM microcapsule particle size (μm) | 2.57                  |

<sup>a</sup> MF: melamine-formaldehyde

자체 개발한 마이크로캡슐은 Table 1 과 같으며 Figure 2 에서는 심물질인 octadecane 과 MPCM 의 DSC 곡선을 나타내었다.

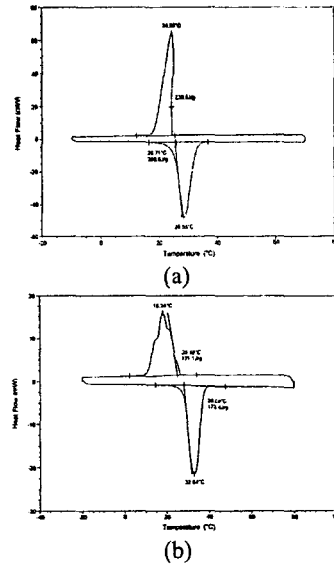


Figure 2. DSC thermograms ; (a) octadecane (b) MPCM

Table 2 에서는 Figure 2 의 결과를 나타내었다. 심물질과 MPCM 을 비교시 전체적으로 용점 및 결정화 온도가 상승하였음을 알 수 있으며, 잠열은 상대적으로 octadecane 잠열량의 75%정도가 측정되었는데 이는 마이크로캡슐 제조과정 중 첨가제의 혼입과 벽막에 의한 영향이라 볼 수 있다 [2,3,4].

Table 2. Thermal properties of MPCM and octadecane

| Sample     | Initial melting temp (°C) | Melting peak temp (°C) | Initial crystallization temp(°C) | Crystallization peak temp(°C) | Heat of fusion (J/g) |
|------------|---------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| Octadecane | 25.71                     | 28.55                  | 26.02                            | 24.5                          | 230.5                |
| MPCM       | 28.08                     | 32.84                  | 25.16                            | 18.24                         | 173.4                |

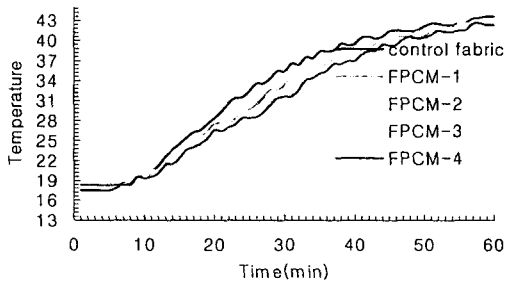
### 3.2 PCM 마이크로캡슐의 섬유코팅

MPCM 슬러리를 섬유에 코팅하였다. 면직물 10% 인 섬유를 Table 3 과 같은 조건으로 코팅하였으며, 면직물의 크기는 30×30 cm<sup>2</sup> 로 재단하였다. 침지시 wet pickup 은 전부 100%로 맞추어 실험을 하였다. 온도측정은 Figure 1 과 같은 장치를 이용하여 1 시간동안 42°C까지 상승시켜 시간당 온도변화를 관찰하였다. 그 결과는 Figure 3 에 나타내었으며, FPCM 은 PCM 마이크로캡슐이 코팅된 직물이며, control fabric 은 코팅되지 않은 직물을 나타낸다.

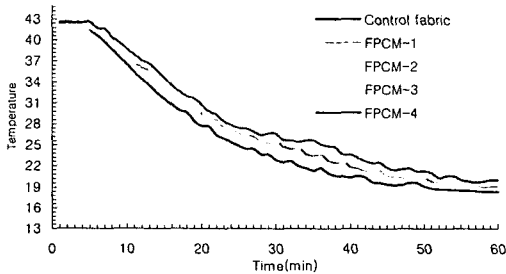
Table 3. The add-on amount of PCM microcapsules applied to fabrics

| Sample code                                   | FPCM-1     | FPCM-2     | FPCM-3     | FPCM-4     |
|---|------------|------------|------------|------------|
| Core material                                 | Octadecane | Octadecane | Octadecane | Octadecane |
| Weight(%) of microcapsule slurry <sup>a</sup> | 6          | 9          | 12         | 15         |
| Heat capacity of PCM micro-capsules (J/g)     | 173.4      | 173.4      | 173.4      | 173.4      |
| Coating method                                | Padding    | Padding    | Padding    | Padding    |

<sup>a</sup> Weight that was incorporated into water to prepare on aqueous treating bath



(a)



(b)

Figure 3. Comparison of temperature change of fabrics treated with aqueous solution of microencapsulated PCM with the uncoated fabric; (a) heating curve, (b) cooling curve

Figure 3에서는 PCM 마이크로캡슐이 코팅되지 않은 천과 코팅된 천의 온도변화를 볼 수 있다. 코팅액 조성중 마이크로캡슐의 농도가 증가할수록 온도차이도 비례적으로 올라감을 알 수 있으며 Table 2의 DSC 결과와 비교시에도 상전이가 일어나는 부근의 온도에서 온도차가 나기 시작하여 최

고값에서 최고 온도차를 나타내고 있다.

Table 4. Temperature changes of fabrics treated with microencapsulated PCM

| Sample code     | Heating  |  |  |
|-----------------|--|--|--|
|                 | Rate of temperature increase (°C/min) <sup>a</sup> | Difference in temperature at 27.9°C <sup>b</sup> | Difference in temperature at 32.4°C <sup>c</sup> |
| Uncoated fabric | 0.72   | -  | -  |
| FPCM-1          | 0.644  | 1  | 1.8  |
| FPCM-2          | 0.644  | 1.5  | 2  |
| FPCM-3          | 0.548  | 1.9  | 2.6  |
| FPCM-4          | 0.532  | 2.2  | 3.9  |
| Sample code     | Cooling  |  |  |
|                 | Rate of temperature decrease (°C/min) <sup>d</sup> | Difference in temperature at 25.9°C              | Difference in temperature at 19.5°C              |
| Uncoated fabric | 0.76   | -  | -  |
| FPCM-1          | 0.684  | 1.7  | 2.1  |
| FPCM-2          | 0.684  | 2  | 2  |
| FPCM-3          | 0.636  | 2  | 2.3  |
| FPCM-4          | 0.616  | 2.5  | 3.4  |

<sup>a</sup> Rate of temperature increase from 18.6°C to 35.4°C for 25min

<sup>b</sup> Initial melting temperature as shown in Figure 8 (b)

<sup>c</sup> Melting peak temperature as shown in Figure 8 (b)

<sup>d</sup> Rate of temperature decrease from 42.6°C to 23.6°C for 25min

Table 4에서는 PCM 마이크로캡슐의 농도차에 따른 온도상승률 및 상전이 온도에서의 온도차를 나타내고 있다. 가장 낮은 온도상승률을 나타내는 것은 FPCM-4이며 대체적으로 MPCM의 농도가 증가할수록 온도상승 및 하강률이 감소하였다. Table 2에서 용융의 시작온도인 28°C 부근과 최고점인 32°C에서의 온도차는 FPCM-3, -4만이 2°C 이상 차이가 관찰되었다. 이를 통하여 섬유코팅시 마이크로캡슐 최적농도는 12~15%가 적당하다고 할 수 있다.

### 결론

PCM 마이크로캡슐자체의 DSC 곡선과 이를 섬유에 코팅시의 온도변화관계를 알아보았다. 심물질과 마이크로캡슐과의 DSC 측정결과 마이크로캡슐의 용융점 및 결정화점의 온도가 증가함을 알 수 있었으며 또한 잠열량은 심물질 잠열량의 75%가 관찰되었다. PCM 마이크로캡슐을 섬유에 코팅시 마이크로캡슐의 첨가량이 증가할수록 온도상승 및

하강율의 변화가 감소됨을 알 수 있었다. 또한 DSC 결과와 비교시에도 심물질의 용융이 시작하는 온도에서부터 차이가 현저히 나기 시작하여 피크 온도에서 최고온도차를 관찰할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. M. E. Holman, "Lat el-coated Microcapsules", U.S. Patent, 6,171,647(2001).
2. M. L. Nuckols, "Analytical Modeling of a Diver Dry Suit Enhanced with Micro-encapsulated Phase Change Materials", *Ocean Engineering*, **26**, pp.547-564(1999).
3. R. J. Pushaw, "Skived Foam Article Containing Energy Absorbing Phase Change Material", U.S. Patent, 5,955,188(1999).
4. Y. Yamagishi, T. Sugeno, and T. Ishige, "An Evaluation of Microencapsulated PCM for Use in Cold Energy Transportation Medium", *Energy Conversion Engineering Conference*, **3**, pp.2077-2083(1996).
5. W. S. Yoon, Y. G. Shul, J. K. Kim, H. Joo, M. S. Jeon, and T. K. Lee, "Encapsulation of Sodium Acetate Trihydrate and Stearic Acid for Thermal Energy Storage", *J. Korean Chem. Eng.*, **38**, pp.725-731(2000).
6. H. Bo, E. M. Gustafsson and F. Setterwall, "Tetradecane and Hexadecane Binary Mixtures as Phase Change Materials(PCMs) for Cool Storage in District Cooling Systems", *Energy*, **24**, pp.1015-1028(1999).
7. S. Benita, "Microencapsulation: Methods and Industrial Application", pp.1-33, Marcel Dekker Inc., NY, 1996.
8. J. E. Vandegaer, "Microencapsulation: Processes and Applications", pp.1-20, Plenum Press, NY, 1974.
9. M. H. Gutcho, "Microcapsules and other capsules", pp.1-30, Noyes Data Corp., NJ, 1979.