

건축물 축열성능 향상을 위한 Octadecane/xGnP SSPCM 제조 및 열적성능 분석

Preparation and Thermal Properties of Octadecane/xGnP Shape-Stabilized Phase Change Materials to Improve the Heat Storage Performance of Buildings

김석환(Sughwan Kim), 정수광(Su-Gwang Jeong), 이정훈(Jeong-Hun Lee), 김수민(Sumin Kim)[†]
송실대학교 건축학부 건축환경재료연구소

Building Environment and Materials Lab, School of Architecture, Soongsil University, Seoul, Korea

(Received November 16, 2012; revision received December 10, 2012)

Abstract In this study, a shape-stabilized phase change material (SSPCM) was prepared by octadecane and exfoliated graphite nanoplate (xGnP) in a vacuum, to improve thermal storage performance. The octadecane as an organic phase change material (PCM) is very stable against phase separation of PCM, and has the proper temperature range for thermal comfort in the building; and the xGnP is a porous carbon nano-material. Scanning electron microscope (SEM) and Fourier transformation infrared spectrophotometer (FT-IR) were used to confirm the chemical and physical stability of the Octadecane/xGnP SSPCM. In addition, thermal properties were determined by Differential scanning calorimeter (DSC), and Thermogravimetric analysis (TGA). The specific heat of Octadecane/xGnP SSPCM was 14.1 J/g·K at 31.3°C. The melting temperature ranges of melting and freezing were found to be 26~35°C and 26~19°C, respectively. At this time, the latent heats of melting and freezing were 110.9 J/g and 104.5 J/g, respectively. The Octadecane was impregnated into xGnP by as much as about 56.0% of the Octadecane/xGnP SSPCM's mass fraction.

Key words SSPCM, xGnP, Octadecane, Thermal energy storage(축열), Thermal properties(열적특성)

[†] Corresponding author, E-mail: skim@ssu.ac.kr

1. 서 론

최근, 축열은 미래 에너지기술 중 하나의 요소기술로 주목받고 있다. 열을 저장하는 방식으로 현열에 의한 축열, 잠열에 의한 축열, 화학반응에 의한 축열방식으로 크게 3가지로 구분 된다.^(1, 2) 특히, 잠열성능이 우수한 상변화물질(Phase change material : PCM)을 활용한 축열방식은 고밀도, 고효율의 열저장 특성 때문에 전세계적으로 태양열발전, 폐기열, 지중열, 건축물 등의 에너지 생산 및 관리 분야에서 널리 사용되는 가장 효과적인 방안으로 여겨지고 있다.^(3, 4)

PCM은 온도의 변화에 따라 상이 변하는 물질로서 상이 변할 때 열을 잠열의 형태로 축적하거나 방출하는 특성이 있다. 이 잠열은 동일한 부피를 가진 물체의 현열에 비하여 훨씬 더 많은 양의 에너지를 저장 및 방출이 가능하다. 건물에너지 소비 원인 중에서 가장 많은 양을 차지하고 있는 부분은 외기에 대응하고, 쾌적한 실내 환경을 만들기 위한 냉·난방 설비장치

가동에 사용되는 부분이다. 때문에, PCM이 건축물에 적용 될 경우, 온도가 상승하는 주간에는 열을 흡수한 후 온도가 하강하는 야간에는 재방출하여, 타임래그 효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 축열 성능에 의하여 실내온도를 안정적으로 유지할 수 있게 된다. 즉, 건축물에 적용 시 냉난방 부하를 줄임으로써 건축물 에너지저감에 기여할 수 있다.

PCM은 물질마다 혹은 같은 물질이라도 온도범위에 따라 다양한 종류가 있고, 이 때문에 건축물 적용 시 적용할 부분에 따른 알맞은 PCM을 선택해야한다. 건축물에 적용하는 PCM은 고체-액체의 상변화가 일어나기 때문에 적용 시 제약이 따른다. 액체 상태에서의 불안정성으로 인하여 액체 상태의 PCM의 누출이 일어날 수 있다는 문제가 있다.⁽⁵⁾ 따라서 액체상태의 PCM을 안정화시키기 위한 방안으로 마이크로 크기의 캡슐에 PCM을 삽입시킨 Micro-encapsulated PCM(MPCM)이 있다. 하지만 MPCM은 캡슐화과정에서 캡슐의 벽물질과 혼합되어 중량대비 순수한 PCM에 비해 잠열성능

이 떨어지고, 그 캡슐벽이 외부와 PCM을 사이에서 열이동을 막아 효율이 떨어진다는 단점이 있다.⁽⁶⁻⁸⁾ 이러한 단점을 보완하기 위하여 다공성물질에 PCM을 함침시키는 기술을 활용한 고성능 Shape-stabilized PCM(SSPCM) 연구가 활발히 이루어지고 있다.

본 연구에서는 PCM을 SSPCM 방식으로 상안정화 시킴과 동시에 축열성능을 향상시키기 위한 방안으로 다공성의 탄소나노인 Exfoliated graphite nanoplate(xGnP)와 화학적으로 안정적이고, 상분리가 잘 일어나지 않는 유기PCM 종류 중 건축물에 적용하기 적합한 온도범위를 가진 Octadecane을 함침시키는 과정을 진행하였다. 또한 제조된 Octadecane/xGnP SSPCM의 열적특성을 분석하고, 건축물의 축열성능 향상을 위한 적용방안을 고찰하였다.

2. 실험방법

2.1 재료

우수한 기계적, 전기적, 열전도성을 가진 xGnP는 여러 겹의 층과 나노클레이가 혼합된 물질로서, 가격이 저렴하며 다른 물질에 적용되어 화학적 또는 물리적으로 물성 개선효과를 개선시킬 수 있는 다공성의 탄소나노튜브의 소재이다. 본 연구에 사용된 xGnP의 물성을 Table 1에 나타내었다.⁽⁹⁻¹²⁾

Octadecane은 유기 PCM 계열로 탄소와 수소로 이루어진 탄화수소계열의 상변화물질이다. 본 연구에 사용된 Octadecane의 물성⁽¹³⁾을 Table 2에 나타내었다.

2.2 Shape-Stabilized PCM 제조방법

Octadecane과 xGnP로 구성된 Shape stabilized PCM(SSPCM)은 진공함침법으로 제조되었다.^(14, 15) 본 연구

Table 1 Properties of xGnP

Surface area(m ² /g)	20.406
Bulk density(g/cm ³)	0.0053~0.01
Pore volume(cm ³ /g)	0.081
Thermal conductivity(W/m·K)	2-300
Specific heat capacity(J/kg·K)	710

Table 2 Properties of Octadecane

Melting temperature(°C)	26~29
Heat storage capacity(J/g)	256.5
Specific heat capacity(J/g·K)	92
Thermal conductivity(W/m·K)	0.26
Density(kg/m ³) at 25°C	777

에서 사용된 진공함침장치는 Fig. 1과 같다. 플라스크 속을 진공으로 만들기 전에 xGnP를 플라스크 속에 넣고, 진공장치를 가동시켜 xGnP 기공 속에 존재하던 모든 공기를 제거한다. 진공상태를 90분 동안 유지시켜준 후 플라스크와 액상의 Octadecane을 담아둔 용기 사이에 있는 밸브를 열어, xGnP가 모두 잠길 때까지 Octadecane을 플라스크 속으로 흘려보낸다. 이 과정 완료 후 밸브를 다시 잠그고 진공상태에서 30분 동안 유지시켜, Octadecane이 xGnP의 기공 속으로 함침 되도록 한다. Fig. 2는 xGnP와 Octadecane이 xGnP에 함침된 Octadecane/xGnP SSPCM의 모습으로 실험실 온도 20°C가

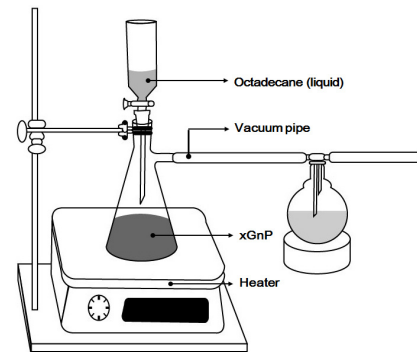


Fig. 1 Vacuum equipment to prepare SSPCM.

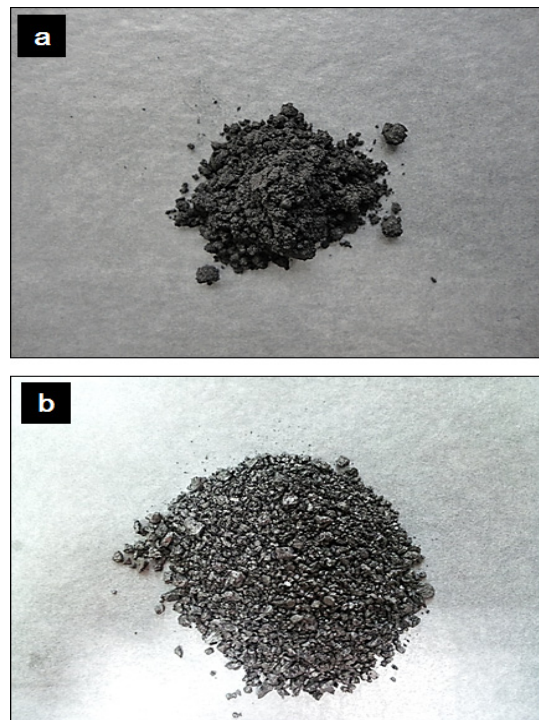


Fig. 2 (a) xGnP, (b) Octadecane/xGnP SSPCM.

Octadecane의 녹는점 28°C보다 낮기 때문에 고체 상태로 존재한다.

2.3 분석방법

본 연구에서 제조한 SSPCM의 상안정성을 확인하기 위하여, Scanning electron microscope(SEM)을 이용하여, Octadecane/xGnP SSPCM 표면을 관찰하였고, Fourier transformation infrared spectrophotometer(FT-IR)를 이용하여 xGnP, Octadecane, Octadecane/xGnP SSPCM의 화학결합을 확인하였다.

Octadecane/xGnP SSPCM의 열적성능을 분석하기 위하여 Differential scanning calorimeter(DSC)를 이용하여 제조된 SSPCM의 녹는점과 어는점, 비열, 잠열량을 0~80°C 사이에서 승온속도 5°C/min의 분석조건으로 확인하였다. 상온 20°C에서 600°C의 범위에서 Thermogravimetric analysis(TGA)를 통하여 Octadecane이 xGnP에 함침된 양을 확인하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 SSPCM의 상안정성 분석

Fig. 3은 xGnP가 Octadecane에 함침되기 전과 후의

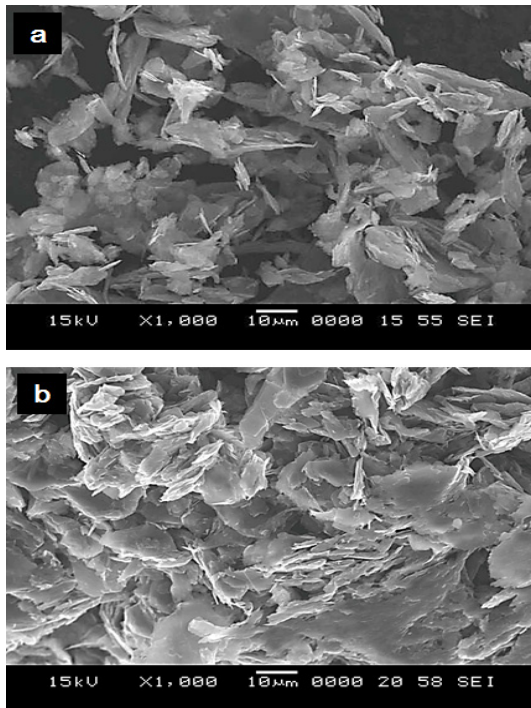


Fig. 3 SEM picture of (a) xGnP, (b) Octadecane/xGnP SSPCM.

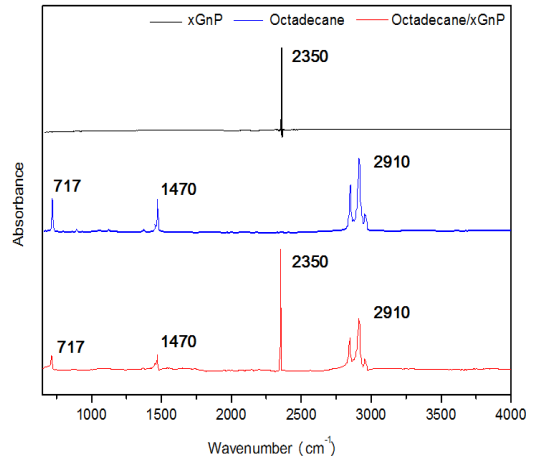


Fig. 4 FT-IR curves of specimens.

SEM 사진을 보여주고 있다. Fig. 3(b)에서 보이는 것과 같이, 제조된 Octadecane/xGnP SSPCM의 Octadecane이 xGnP 입자들 사이에 고르게 분산되어 있다.

xGnP, Octadecane, Octadecane/xGnP의 FT-IR 스펙트럼을 Fig. 4에 나타내었다. xGnP는 2350 cm^{-1} (O = C = O)의 스펙트럼이 확인 되었다. Octadecane의 경우 파라핀계의 물질로서 717 cm^{-1} (C = O), 1470 cm^{-1} (C-H Bending), 2910 cm^{-1} (C-H Stretch) 피크가 확인되었다. Octadecane/xGnP SSPCM에서 xGnP와 Octadecane에서 발견된 피크가 동일하게 관찰되는 것으로 보아서, 제작된 Octadecane/xGnP SSPCM은 함침 중에 화학적 변형 없이 xGnP와 Octadecane 사이의 모세관력과 표면장력에 의한 물리적 결합에 의한 것으로 판명된다.

Octadecane/xGnP SSPCM의 SEM 사진과 FT-IR 분석 결과 액상의 Octadecane의 유출 없이 안정된 상태를 유지하고 있음을 확인하였다.

3.2 SSPCM의 열적성능 분석

Fig. 5에 Octadecane/xGnP SSPCM의 비열 곡선을 나타내었다. Octadecane/xGnP SSPCM의 비열은 Octadecane이 고체에서 액체로 상변화를 하는 과정에서 비열이 상승하게 되고, 완전히 액체상태가 되면 다시 비열은 감소한다. DSC 분석을 통한 Octadecane/xGnP SSPCM의 비열은 31.3°C에서 14.1 J/g · K이었다.

Fig. 6는 Octadecane/xGnP SSPCM의 DSC 곡선을 보여주고 있다. DSC 곡선에 보이는 것과 같이 온도가 상승함에 따라 제조된 SSPCM의 녹는점은 Octadecane의 녹는점과 유사하게 26~35°C의 범위에서 일어났으며, 31.3°C에서 축열성능이 최대값을 보여주었고 이 온도 범위에서의 축열량은 110.9 J/g이었다. 어는점의 경우 26~19°C의 범위에서 일어났으며, 24°C에서 열방출성

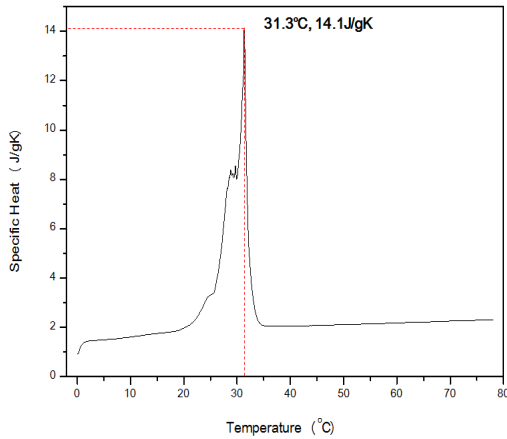


Fig. 5 Specific heat of Octadecane/xGnP SSPCM.

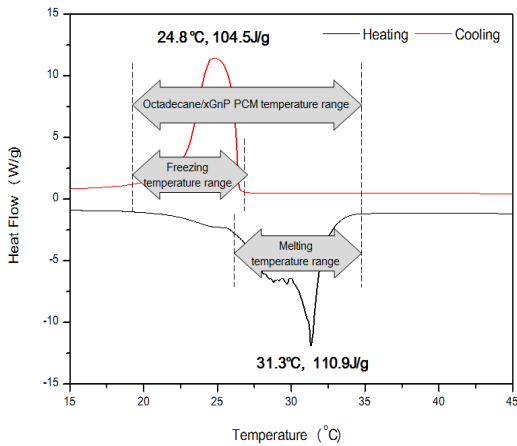


Fig. 6 Heating and cooling curves of Octadecane/xGnP SSPCM.

능의 최대값을 보여주었으며, 열방출량은 104.5 J/g이었다. 이 때, 온도상승 시의 축열량과 온도 하강 시 열방출량의 차이가 6.4 J/g으로 미비한 것으로 보아, 반복된 온도변화에도 SSPCM이 안정된 상태로 우수한 열적성능을 보여주었다. 분석결과, 본 실험에서 제조된 Octadecane/xGnP SSPCM의 상변화 온도가 26°C에서 시작되기 때문에 건축물에 적용하기 위한 골재의 형태를 유지하기 위해서는 상변화 온도 이하에서 보관되어야 한다.

Octadecane이 xGnP에 함침 된 양을 확인하기 위한 TGA 분석 결과를 Fig. 7에 나타내었다. TGA 곡선은 Octadecane/xGnP SSPCM을 상온 20°C에서 온도를 600°C까지 상승시키며 따라 열분해 된 정도를 분석할 수 있다. 온도가 일정하게 상승하고 약 145°C에서 Octadecane이 급격히 열분해 되기 시작하여 207.7°C에서 최대값을 보이게 되며, 270°C에서 어떠한 물질도 열분해

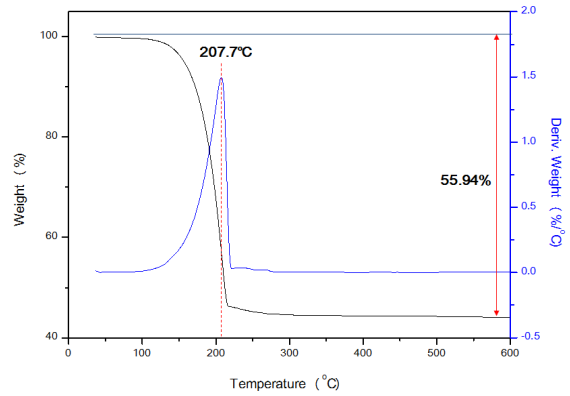


Fig. 7 TGA curve of Octadecane/xGnP SSPCM.

되지 않았다. xGnP는 거의 순수한 탄소나노 소재로 본 연구에서 진행한 TGA 온도 범위 대에서는 열분해 되지 않기 때문에, 열분해 된 물질은 Octadecane이다. TGA 분석결과 Octadecane은 Octadecane/xGnP SSPCM의 질량대비 약 56.0%가 함침되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 Octadecane을 상안정화 시키기 위한 방안으로 열전도율이 우수하고, 다공성물질인 xGnP에 진공함침 시키고, 열적성능을 분석하는 과정을 진행하였다. 분석결과, Octadecane은 상유출 없이 xGnP에 안정적으로 함침 되었고, 제작된 시료의 열적 성능을 평가하였다.

제조한 SSPCM의 상안정성을 확인하기 위해 SEM 사진 판독결과 Octadecane/xGnP SSPCM의 Octadecane이 xGnP 입자들 사이에 고르게 퍼져있음이 확인되었고, FT-IR 분석결과 Octadecane/xGnP SSPCM에서 xGnP와 Octadecane에서 발견된 피크가 동일하게 관찰되는 것으로 보아, 화학적 변형 없이 xGnP와 Octadecane 사이의 물리적결합에 의한 것으로 판단된다. 열적성능면에서는 DSC 분석을 통한 Octadecane/xGnP SSPCM의 비열은 31.3°C에서 14.1 J/g · K이었다. 제조된 SSPCM의 녹는점은 26~35°C의 범위에서 일어나고 있으며, 이 온도범위에서의 총 축열량은 110.9 J/g이었다. 어는점의 경우 26~19°C의 범위에서 일어났으며, 이 때 총 열방출량은 104.5 J/g이었다. 이 때, 온도상승 시의 축열량과 온도 하강 시 열방출량의 차이가 미비한 것으로 보아, 반복된 온도변화에서도 SSPCM이 안정된 상태로 충분한 열적성능을 보여주었다. TGA 분석결과, Octadecane은 Octadecane/xGnP SSPCM의 질량대비 약 56.0% 함침되었다.

본 연구에서 제조된 Octadecane/xGnP SSPCM은 19~35°C 범위에서 축열 또는 방열성능을 보이는 SSPCM

으로써, 사용된 PCM이 매우 안정적으로 고열효율 다공성 탄소물질에 함침 되었다. 이러한 상안정성은 추후 건축물 자재에 적용될 수 있는 가능성을 보여준다. 또한 Octadecane/xGnP SSPCM의 우수한 열적성능이 발휘되는 온도 범위대는 사람이 안락하게 건축물에서 거주 가능한 온도범위와 유사하기 때문에, 외기변화에 의한 실내온열환경의 급격한 변화를 방지할 수 있을 뿐만 아니라 온열쾌적범위를 유지하기 위한 건물에너지 절감방안으로 모색될 수 있다.

후 기

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원 12첨단도시 C06에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Hadjieva, M., Kanev, S., and Argirov, J., 1992, Thermo physical properties of some paraffins applicable to thermal energy storage, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 27, pp. 181-187.
2. Rozanna, D., Salmiah, A., Chuah, T. G., Medyan, R., Choong, S. Y., and Sa'ari, M., 2005, A study on thermal characteristics of phase change material (PCM) in gypsum board for building application, *Journal of Oil Palm Research*, Vol. 17, pp. 41-46.
3. Farid, M. M. et al., 2004, A review on phase change energy storage: materials and applications, *Energy Conversion and Management*, Vol. 45, pp. 1597-1615.
4. Hasnain, S. M., 1998, Review on sustainable thermal energy storage technologies part 1: Heat storage materials and techniques, *Energy Conversion and Management*, Vol. 39, pp. 1127-1138.
5. Jeong, S., Jeon, J., Seo, J., and Kim, S., 2011, Consideration for application of Phase change material(PCM) for building energy saving, *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, Vol. 5, No. 1, pp. 1-9.
6. Hawlader, M. N. A., Uddin, M. S., and Khin, M. M., 2003, Microencapsulated PCM thermal energy storage system, *Applied Energy*, Vol. 74, pp. 195-202.
7. Özonur, Y., Mazman, M., Paksoy, H. Ö., and Evliya, H., 2006, Microencapsulation of coco fatty acid mixture for thermal energy storage with phase change material, *International Journal of Energy Research*, Vol. 30, pp. 741-749.
8. Loxley, A. and Vincent, B., 1998, Preparation of poly (methylmethacrylate) microcapsules with liquidcores, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 208, pp. 49-62.
9. Wolkoff, P., 2001, Photocopiers and indoor air pollution, *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 2029-2030.
10. Kalaitzidou, K., 2006, Exfoliated graphite nanoplatelets as reinforcement for multifunctional polypropylene nanocomposites, Ph.D. Thesis, Michigan State University, East Lansing, MI, USA.
11. Seo, J., Jeon, J., Lee, J., and Kim, S., 2011, Thermal performance analysis according to wood flooring structure for energy conservation in radiant floor heating systems, *Energy and Buildings*, Vol. 43, pp. 2039-2042.
12. Lee, J. and Kim, S., 2011, The determination of the adsorption performance of graphite for VOCs and formaldehyde, *Energy and Buildings*, Vol. 46, pp. 56-61.
13. SIGMA-ALDRICH, 2011, 2012-2014 Handbook of Fine Chemicals.
14. Zhang, D., Zhou, J., Wu, K. and Li, Z., 2005, Granular phase changing composites for thermal energy storage, *Solar Energy*, Vol. 78, pp. 471-480.
15. Karaipekli, A., Sari, A. and Kaygusuz, K., 2009, Thermal characteristics of paraffin/expanded perlite composite for latent heat thermal energy storage, *Energy Sources*, Vol. 31, pp. 814-823.