

잠열저장 시스템용 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 계 PCM의 최적화

이민화 · 송윤섭 · 이영우[†] · 오인환*

충남대학교 화학공학과

*한국과학기술연구원

(1999년 12월 14일 접수, 2000년 3월 20일 채택)

Optimization of $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ -based PCM for Latent Heat Storage System

Min-Hwa Lee, Yun-Seob Song, Young-Woo Rhee[†] and In-Hwan Oh*

Dept. of Chemical Engineering, Chungnam National University, Kungdong 220, Yousung, Taejeon, Korea

*Environment and Process Technology Division, Korea Institute of Science and Technology, P.O. Box 131, Cheongryang, Seoul, Korea

(Received 14 December 1999; accepted 20 March 2000)

요 약

본 연구에서는 심야전력을 이용한 가정용 잠열저장시스템에 적용하기 위하여 잠열축열제로 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 를 주잠열제로 사용하고, CMC-Na를 증점제로, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 를 조핵제로 사용한 PCM(Phase Change Material)에 대해 축열, 방열특성 및 최적 조성을 조사하였다. $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 는 용융점이 58 °C이고 용융잠열이 252 kJ/kg로 비교적 활용성이 높은 열저장물질이지만 축열과 방열의 반복에 따라 심각한 상분리현상과 과냉각현상을 나타내게 된다. 증점제와 조핵제의 조성을 변화시켜가며 시료를 제조하였고, 열전달유체의 온도변화에 따른 PCM의 온도변화를 측정하였다. 제조된 시료와 15사이클의 가열 및 냉각실험이 끝난 시료에 대하여 DSC를 사용하여 잠열량의 변화를 측정하였다. 3 wt% 이상의 증점제와 3.5 wt% 이상의 조핵제의 첨가를 통하여 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 의 상분리현상과 과냉각현상은 해결될 수 있었으며, PCM의 잠열량을 고려할 때 3 wt%의 증점제와 5-6.5 wt%의 조핵제의 첨가가 적당하였다.

Abstract – In this study, we studied to find the heat storage and release characteristics and optimal compositions of PCM (Phase Change Material)s, which use $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ as the main latent heat storage material, CMC-Na as the thickener and $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ as the nucleating agent, to apply them to the house heating system using night-time electricity. Though $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, which has 58 °C melting temperature and 252 kJ/kg latent heat of fusion, is relatively good heat storage material, it has severe phase separation and supercooling problems by increasing number of heat store and release cycles. By adding over 3 wt% thickener and over 3.5 wt% nucleating agent, phase separation and supercooling of the $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ was disappeared, but considering the amount of the latent heat, 3 wt% thickener and 5-6.5 wt% nucleating agent was the optimal amount of additives. To apply to the house heating system, over 1000 cycling test must be performed.

Key words: Heat Storage, PCM, $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

1. 서 론

사회 경제적인 생산활동의 증가로 에너지 수요가 폭발적으로 증가하였으며 이와 함께 에너지 소비의 시간적, 장소적 불일치를 해결하기 위한 에너지 저장에 관한 연구가 시급히 요구되고 있다[1]. 여러 가지 에너지 저장방법 중에서 잠열저장법은 현열저장법에 비하여 단위부피당 열에너지의 저장용량이 커서 장치의 크기를 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한 잠열축열방식은 사용되는 잠열재의 상전이와 거의 일정한 온도범위에서 축열 및 방열을 하므로 회수되는 에너지의 질이 균일한 장점이 있다. 이러한 잠열축열시스템에 관한 연구는 축열재의 주요 물성인 높은 축열밀도, 상변화시의 부피변화의 최소, 높은 열전도도, 화학적 안정성

및 낮은 부식성 등을 만족하는 잠열물질의 발굴에 집중되어 왔다[2-5].

0-120 °C 영역의 온도에서의 잠열저장은 공간난방, 가정용 온수공급, 공간난방을 위한 열펌프, 온실난방, 태양열 냉방 등의 다양한 저온 응용의 주요 관심 대상이 되어왔다. 저가의(inexpensive) 공업용 파라핀, 지방산(fatty acid), 무기염의 수화물, 유기와 무기물의 공융혼합물 등이 0-120 °C 영역에서 중요한 상전이 물질들이다[4]. 무기물의 수화물들은 일반적으로 유기물과 비교하여 높은 용융잠열을 갖지만, 일반적으로 용융시에 과냉각과 상분리라는 문제점을 가지고 있다. Fig. 1에 대표적인 유기물질과 무기염의 수화물의 융점과 용융잠열을 나타내었다[6].

PCM을 안정화시키기 위하여 PCM 용기를 교반시키거나[7], 과량의 물의 첨가로 인한 물리화학적 개선[8], 화학반응에 의한 PCM의 미세 캡슐화[9]와 증점[10] 등의 다양한 방법들이 사용되어 왔다. 그 중에서 첨가제를 사용하여 PCM의 점도를 증가시키는 증점법이 상분리를 방지

[†]E-mail: ywrhee@cuvic.cnu.ac.kr

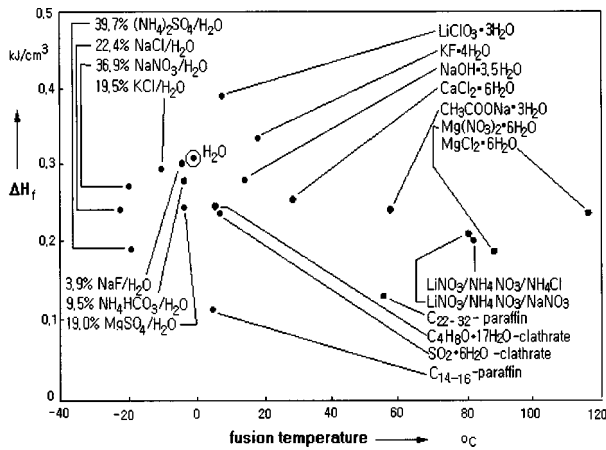


Fig. 1. Melting temperature and latent heat of fusion of organics and salt hydrates.

하는 가장 효과적인 방법으로 알려져 있다. PCM에 적절한 증점제가 첨가되었을 때, 무수염은 용융액 내부에 균일하게 분산되고, 이것은 물과 훨씬 더 많은 접촉기회를 가지게 되어 염의 재수화가 증가되게 된다. 또한 이것은 용융액의 과냉각을 방지하기 위한 불용성 조해제의 분산도 도와준다[11, 12].

Kimura 등[13]의 연구에 의하면 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 는 용융점이 58°C 이고 용융잠열이 252 kJ/kg 으로 비교적 활용성이 높은 열저장물질이다. 이 염은 비조화용융을 하여 무수 CH_3COONa 를 형성하며, 심한 과냉각 현상을 보인다. 따라서 이 수화물을 잠열저장물질로 사용하기 위해서는 과냉각과 상분리의 문제들이 해결되어야 한다.

김 등[12]의 연구에서 고수화 무기염의 경우 고흡수성 고분자(super-absorbent polymer)가 상분리현상을 해결하기 위한 효과적인 증점제로 제안되었고, 저수화 무기염의 경우 CMC(carboxymethyl cellulose)가 효과적인 증점제로 제안되었다. 또한 2 wt%의 K_2SO_4 를 조해제로 첨가한 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 는 과냉각현상이 20°C 에서 $2\text{--}3^\circ\text{C}$ 로 감소되었다.

송과 유[14]는 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 의 과냉각 현상을 제어하기 위한 증점제로 $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 를 3 wt% 이상 첨가하여 25.7°C 의 과냉각 온도를 1°C 미만으로 줄였고, 증점제로 3 wt%의 CMC-Na를 첨가하여 상분리 현상을 해결하였으며, 안정성을 고려한 조해제 및 증점제의 적정 첨가량은 4 wt%이라는 것으로 조사하였다.

현재까지 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 를 잠열축열제로 이용한 연구는 많이 진행되어왔지만 지금까지의 연구는 이 물질을 안정화시키기 위한 조해제와 증점제를 찾아내는 수준으로 각 첨가제들이 주 잠열제의 축열특성에 끼치는 영향에 대한 조사가 미진한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 심야전력을 이용한 가정용 난방시스템에 사용할 열저장 물질로서 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 를 주 잠열제로 사용하여 조해제와 증점제의 최적 조성을 구하였다. 또한 각 조성별로 15사이클의 가열 및 냉각실험을 통하여 각 조성에서의 용융잠열의 변화를 조사하였다.

2. 실험

2-1. 실험장치 및 시료의 제조

주잠열제와 첨가제를 균일한 분포로 혼합하기 위한 혼합장치를 Fig. 2에 나타내었다. 시료의 제조방법은 다음과 같다. 성분비에 따라 주 잠열제와 첨가제의 정확한 무게를 측정된 다음 수작업으로 일차적인 혼합을 실시한다. 이 시료를 Fig. 2의 1에 표시된 가열용기에 넣고 70°C 로 2시간 동안 가열시켜 시료를 용융시킨다. 시료가 녹으면 교반기를 600 rpm으로 30분간 작동시켜 시료가 완전히 혼합되도록 한다. 용융상

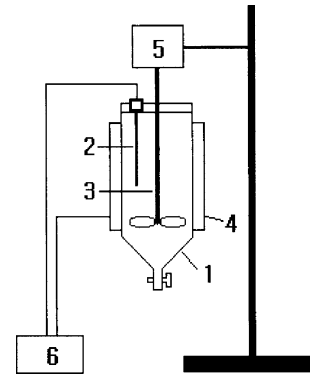


Fig. 2. Schematic diagram of PCM mixing apparatus.

1. Heating vessel
2. Thermocouple
3. Stirrer
4. Heating band
5. Motor
6. Temp. controller

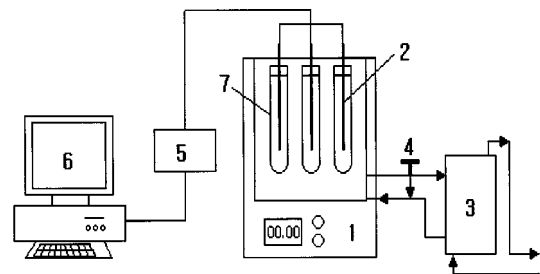


Fig. 3. Temperature change test unit for PCM.

1. Heating/cooling vessel
2. Thermocouple
3. Heat exchanger
4. 3-Way valve
5. Temp. read-out box
6. PC
7. Glass tube

태의 PCM을 길이 150 mm, 내부직경 30 mm의 유리 시험관에 100 mm 높이로 담는다.

Fig. 3은 PCM의 온도변화 측정장치의 개략도를 나타낸 것이다. 시료를 담은 시험관을 온도변화 측정장치에 넣고 HTF(Heat Transfer Fluid: 열전달유체)의 온도변화에 따른 시료의 온도변화, 과냉각 현상, 상분리 현상 등을 관찰한다. 1의 가열/냉각 수조는 (주)제이오텍의 냉동 항온 순환 수조(Model: RBC-20)를 구입하여 실험목적에 맞게 장치를 개량한 것이다. HTF는 증류수(80 vol%)와 에틸렌글리콜(20 vol%)의 혼합물이며 순환속도는 25 l/min 이다. 시료의 온도변화는 PT-100Ω 타입의 열전대를 사용하여 측정되었다. HTF를 냉각시키기 위하여 3의 열교환기를 설치하였는데, 열교환기에 공급되는 저온의 유체는 수도물이기 때문에 계절적인 영향으로 가열 및 냉각 사이클의 시작 온도와 종료 온도가 실험에 따라 $15\text{--}25^\circ\text{C}$ 로 차이를 나타내기는 하지만 시료의 상변화 온도와는 30°C 이상의 차이가 있기 때문에 시료의 열적 특성을 조사하는 데는 문제가 되지 않는다.

2-2. 실험방법

용융점 50°C 이상의 무기염의 수화물 중 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 와 $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 가 주 PCM의 대상물질로 시험된 후 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 가 주 잠열제로 선정되었다. $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 는 조해제로 사용되었고, CMC-Na는 증점제로 사용되었다. 각 시료의 조성은 Table 1에 나타내었다.

Fig. 3의 실험장치를 이용하여 PCM의 온도변화를 측정하는 방법은 다음과 같다. PCM을 담은 유리 시험관을 1의 가열/냉각 수조에 넣는다. 가열기를 작동시켜 열전달유체의 온도를 PCM의 용융온도보다 약 15°C 정도 높은 온도($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ -based PCM의 경우 75°C)

Table 1. Compositions of the samples

Sample	Nucleating agent(wt%)	Thickener(wt%)
A	5	0
B	0	3
C	2	3
D	3.5	3
E	5	3
F	6.5	3
G	8	3
H	5	1
I	5	5

까지 상승·유지시키며 PCM의 열저장시 온도변화를 측정한다. 냉각시에는 3-way valve를 열교환기 쪽으로 전환시키고 열교환기에 수도물을 공급시키며 열전달유체를 냉각시킨다. 가열과 냉각이 끝난 후에 시험관에서의 시료의 상분리 정도를 관측한다.

용융점과 용융잠열은 시료 제조 후와 5, 10, 15 사이클이 끝난 후 TA-Instrument사의 DSC-2010을 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 조핵제와 증점제의 영향

조핵제의 영향을 조사하기 위해 공융용 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 에 5 wt%의 $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 를 첨가한 시료 A에 대해 15 cycle의 가열·냉각 실험을 실시하였으며 그 결과를 Fig. 4(a)에 나타내었다. 조핵제의 첨가로 인해 최고 35 °C까지 발생하던 과냉각 현상이 3 °C 이내로 감소되었다. 그러나 증점제가 첨가되지 않았기 때문에 가열·냉각의 반복에 따라서 PCM의 상분리가 일어나서 물과 무수염으로 분리되었다.

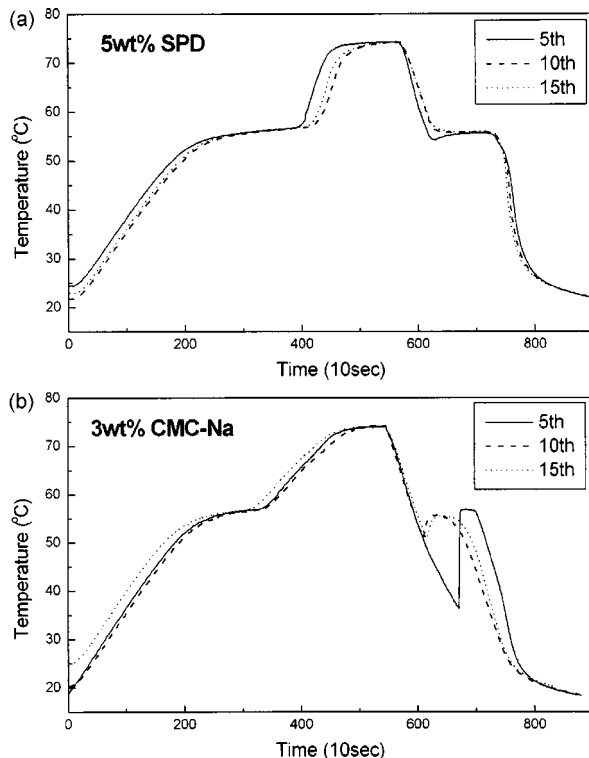


Fig. 4. Effect of the additives during heating and cooling cycles. (a) sample A, (b) sample B

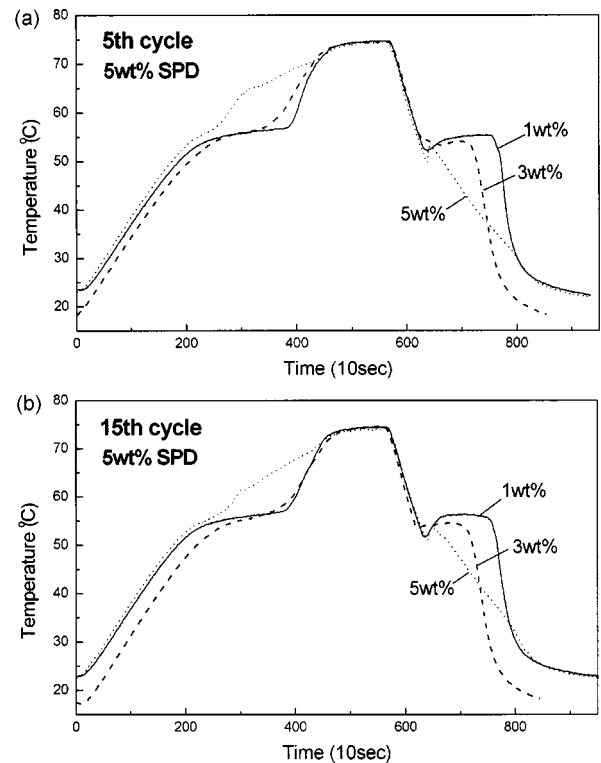


Fig. 5. Effect of the thickener during heating/cooling cycles. (a) 5th cycle, (b) 15th cycle

Fig. 4(b)는 증점제의 영향을 조사하기 위하여 공융용 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 에 3 wt%의 CMC-Na를 첨가한 시료 B에 대해 15 cycle의 가열·냉각 실험을 실시한 결과이다. 3 wt%의 증점제 첨가로 인하여 상분리 현상은 방지되었지만 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 를 주 잠열제로 사용할 때의 문제점인 불규칙한 과냉각현상은 사라지지 않았다.

3-2. 증점제 조성 변화의 영향

증점제의 조성 변화가 PCM의 축열특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 주 잠열제인 공융용 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 에 대하여 조핵제인 $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 의 함량을 5 wt%로 고정시키고 증점제인 CMC-Na의 조성을 1, 3, 5 wt%로 변화시켜 시료 E, H, I를 제조하였다. 시료 E, H, I에 대하여 15 사이클의 가열 및 냉각 실험을 실시하였으며 그 실험결과를 Fig. 5에 나타내었다.

1 wt%의 증점제를 첨가한 경우 사이클 초기에는 상분리 현상이 관찰되지 않았고 안정적인 열의 흡수와 방출이 일어났다. 그러나 10 사이클 이후에는 상분리 현상이 관찰되었고, 초기사이클에서 3 °C 정도였던 과냉각 온도도 5-7 °C로 증가하게 되었다. PCM 내부에서 증점제의 주 사용 목적은 대부분의 무기염 수화물이 갖는 상분리 현상을 방지하는 것이다. 또한 증점제는 시료가 용융될 때 조핵제가 균일한 분포를 갖게 하는 데도 기여하게 된다. 1 wt%의 증점제를 사용하였을 때 사이클의 반복에 따라 과냉각 현상과 상분리 현상이 증가하게 되는 것은 증점제의 함량이 부족하여 시료 내부에서 조핵제 및 증점제의 균일한 분산이 어렵게 되고, 이로 인해 과냉각 온도와 상분리 현상이 증가하기 때문이다.

3 wt%의 증점제를 첨가한 경우에는 15회의 가열 및 냉각 사이클이 끝날 때까지 균일한 열 흡수와 방출을 나타내었다. 과냉각 온도도 약 1.5 °C 정도로 균일하게 유지되었으며 상분리 현상도 관찰되지 않았다.

5 wt%의 증점제를 첨가한 경우에는 가열동안에 PCM의 용융구간이 아주 짧게 나타나고, 냉각동안에도 결정화구간이 짧게 나타난다. 이것은

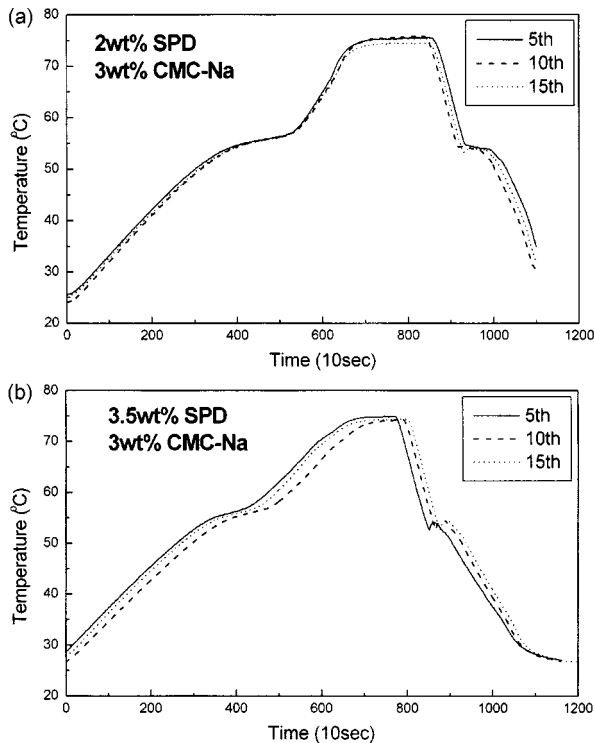


Fig. 6. Effect of the nucleating agent change during heating/cooling cycles.
(a) sample C, (b) sample D

HTF의 가열속도의 영향과 함께 잠열 저장능력이 없는 증점제의 분율이 증가함에 따라 PCM 전체의 열저장 능력이 감소하게 되었기 때문이다.

3.3. 조핵제 조성 변화의 영향

조핵제의 조성을 변화시켰을 때 PCM의 축열특성을 조사하기 위해 공업용 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 에 대하여 증점제 CMC-Na의 함량을 3 wt%로 고정시키고, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 의 함량을 2, 3.5, 5, 6.5, 8 wt%로 변화시켜 시료 C, D, E, F, G를 제조하였다. 모든 시료에 대하여 15 cycle의 가열·냉각 실험을 실시하였고 실험결과는 Fig. 6-8에 나타내었다. 각 시료의 과냉각 정도, 상분리 특성, 잠열량의 변화는 Table 2에 나타내었다.

Fig. 6(a)는 시료 C의 15 사이클 가열 및 냉각 실험결과이다. 사이클의 초기에는 과냉각 현상이 나타나지 않았지만 10 사이클 이후에는 약 2°C 의 과냉각 현상이 발견되었으며, 사이클의 반복에 따라 이러한 과냉각 온도가 조금씩 증가하게 되었다. 과냉각 온도의 증가는 용융상태에서 시료의 대류현상으로 인하여 PCM 내부에서 조핵제의 균일한 분포가 깨어지게 되고, 특정 부분에서는 조핵제의 농도가 상대적으로 희박하게 되어 시료 전체적으로 조핵제가 더 이상 조핵기능을 수행하지 못함을 의미한다. 그러므로 2 wt%의 조핵제 첨가는 시료 전체의 과냉각 현상을 제어하기에는 부족하다고 할 수 있다.

Fig. 6(b)에는 시료 D의 15사이클 실험결과를 나타내었다. 과냉각 현상은 약 2°C 로 균일하게 나타났으나 그림에서도 알 수 있듯이 열 저장 곡선과 방출 곡선이 짧게 나타났다. 전 사이클에서의 불완전한 열 방출에 의하여 다음 사이클에서의 열 흡수도 완전하게 일어나지 않았다. 이러한 현상은 PCM을 축열 시스템에 적용할 때 열 저장능력의 감소라는 심각한 문제를 유발한다. 이러한 현상의 원인을 살펴보면 다음과 같다. 시료의 제조과정에서 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 를 용융시킨 후 시료를 혼합하게 되는데 이 온도에서 조핵제로 사용되는 $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot$

$10\text{H}_2\text{O}$ 와 증점제로 사용되는 CMC-Na는 용융되지 않고 고체상태로 존재하게 된다. 이때 밀도의 차이가 발생하게 되고, 조핵제와 증점제가 용융된 시료의 특정부분에만 존재하는 현상이 나타날 수 있다. 교반기를 이용하여 용융 시료를 혼합시키기는 하지만 교반기의 회전이 시작되기 이전에 첨가제의 침전이 일어나면 PCM 전체에 대하여 조핵제와 증점제의 일부는 완전 혼합이 되지 않게 되고, 따라서 시료 내부로의 첨가제의 균일한 분산이 어렵게 된다. 부분적으로 이러한 현상이 일어났을 경우 시료의 특정부분은 제조과정에서부터 과냉각된 상태로 존재하게 되고, 시료 전체의 열저장 능력에 좋지 않은 영향을 주게 될 수 있다. 이것은 상업적으로 PCM을 사용하게 될 때 제조방법의 결정에서 반드시 고려해야 할 사항 중의 하나이다.

Fig. 7은 시료 E의 15 사이클의 가열 및 냉각 실험결과이다. 15 사이클을 지나는 동안 상분리 현상은 발견되지 않았으며, 과냉각 현상도 1.5°C 이내로 나타났다. 또한 열저장과 열방출도 사이클이 진행됨에 따라 그림에서 각 사이클의 곡선을 구별하기 어려울 정도로 변화를 보이지 않고 균일하게 나타났다. 또한 Table 2에 나타난 바와 같이 사이클의 반복에 따른 용융잠열도 다른 시료에 비해 상대적으로 적게 감소하였다.

Fig. 8(a)는 시료 F의 가열 및 냉각 실험결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 열저장과 방출부분의 곡선은 시료 제조상의 문제로 인하여 상대적으로 불안정하게 나타났지만 PCM 사용의 문제점인 과냉각현상은 3°C 이내로 제어되었다. Table 2에 따르면 시료 F의 용융잠열도 다른 시료들에 비하여 큰 것으로 나타났다.

Fig. 8(b)는 시료 G에 대한 15 사이클의 가열 및 냉각 실험결과이다. 이 그림은 8 wt%의 조핵제 첨가로 인하여 PCM의 과냉각 현상이 제어될 수 있다는 것을 보여준다. 그러나 시료 G의 경우에는 잠열저장 능력

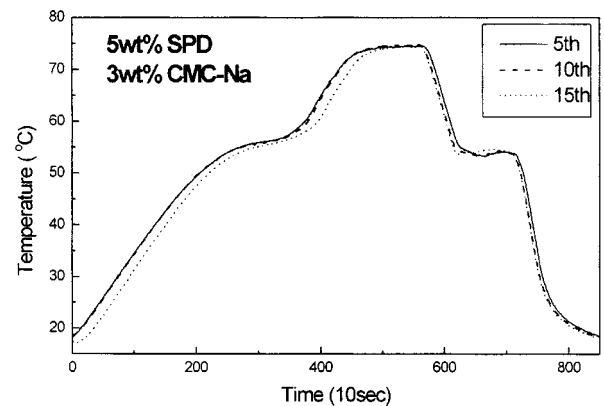


Fig. 7. Effect of the nucleating agent during heating/cooling cycles (sample E).

Table 2. Thermal characteristics of the samples

Sample	Supercooling (°C)	Phase separation	ΔH_f at 1st heating (J/g)	ΔH_f after 15th heating (J/g)
A	3	observed	224.2	219.5
B	5-32	×	243.7	232.9
C	2-3	×	230.0	198.2
D	1.5	×	228.3	195.2
E	1.5(max)	×	239.8	221.1
F	3	×	232.9	227.4
G	2-3	×	224.0	181.0
H	3-4	observed	241.0	225.4
I	3-4	×	214.6	208.5

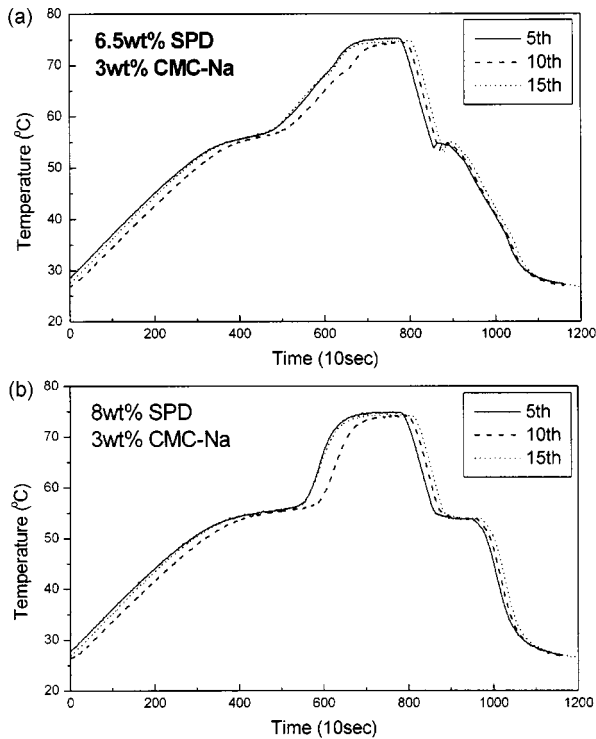


Fig. 8. Effect of the nucleating agent during heating/cooling cycle.
(a) sample F, (b) sample G

을 갖지 못하는 첨가제의 함량이 전체의 11 wt%이다. 그러므로 Table 2에 따르면 이 시료의 용융잠열이 가열 및 냉각 사이클 이전에는 224 J/g 이었다가 15사이클의 시험이 끝난 후에는 181 J/g으로 감소하게 된다. 만약 사이클이 더 반복되게 된다면 이러한 잠열량의 감소는 더욱더 증가하게 될 것이다.

이상에서 본 바와 같이 3.5 wt% 이상의 조핵제를 첨가하였을 때 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 를 주 PCM으로 사용한 잠열 축열재의 과냉각현상은 제어될 수 있었다. 그러나 6.5 wt% 이상의 조핵제를 첨가하였을 경우에는 잠열저장능력을 갖지 않는 첨가제의 함량이 증가함에 따라 잠열 축열재 전체의 축열용량이 감소하게 되었다. 잠열 축열재가 가정용으로 적용되었을 때는 경제성을 고려하여 약 10년을 사용하게 된다고 가정하고 1000사이클 이상의 축열과 방열을 수행할 수 있어야 한다. 본 연구결과로 판단하건대 장기사이클 시험용으로는 상분리현상과 과냉각 현상이 적절하게 조절되고 용융잠열이 다른 시료에 비하여 상대적으로 큰 시료 E와 F가 적합할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 심야전력을 이용한 가정용 난방시스템에 사용할 열저장 물질로서 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 를 주 잠열재로 사용한 PCM에 대하여 잠열량의 변화를 고려한 조핵제와 증점제의 최적 조성을 조사하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 3 wt%의 CMC-Na를 증점제로 첨가하였을 때 상분리현상 없이 균일한 열저장과 방출 특성을 보였다. 그러나 5 wt%의 증점제를 첨가한 경우는 잠열저장능력이 없는 증점제의 농도가 증가하여 축열재의 잠열량이 감소하였으며, 이러한 경향은 사이클의 반복에 따라 증가하였다.
- (2) 2 wt%의 조핵제를 첨가하였을 때는 약간의 과냉각이 관찰되었고, 5 wt% 이상의 조핵제를 첨가하였을 때는 과냉각현상은 완전히 제어되어 안정적인 열 저장과 방출곡선을 나타내었다. 그러나 6.5 wt% 이상의 조핵제 첨가는 잠열 축열재에서 축열부분을 감소시키는 결과를 초래하였다.
- (3) 15사이클의 가열 및 냉각실험결과 3 wt%의 증점제와 5-6.5 wt%의 조핵제가 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 계 PCM를 안정화시키기 위해 가장 적합하였다.

참고문헌

1. Kim, J. K., Yoon, W. S., Jung, K. T., Shul, Y. G., Joo, H. K., Jeon, M. S. and Lee, T. K.: *HWAHAK KONGHAK*, **37**, 151(1999).
2. Park, W. H.: "A System Development of Thermal Energy Storage at High Temperature", MOST(1987).
3. Lee, M. K. and Han G. Y.: *HWAHAK KONGHAK*, **35**, 755(1997).
4. Abhat, A.: *Solar Energy*, **30**(4), 313(1983).
5. Choi, J. C., Kim S. D. and Han, G. Y.: *Korean J. Chem. Eng.*, **12**, 258 (1995).
6. Schröder, J. and Gawron, K.: *Energy Research*, **5**, 103(1981).
7. Herrick, C. S.: *Solar Energy*, **28**, 99(1982).
8. Biswas, D. R.: *Solar Energy*, **19**, 99(1977).
9. Telkes, M.: US Patent 4,187,189(1980).
10. Lane, G. A.: "Solar Heat Storage: Latent Heat Materials, Technology," CRC Press, Boca Raton, **2**(1986).
11. Lane, G. A.: *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **27**, 135(1992).
12. Ryu, H. W., Woo, S. W., Shin, B. C. and Kim, S. D.: *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **27**, 161(1992).
13. Kimura, H. and Kai, J.: *Solar Energy*, **35**(6), 527(1985).
14. Song, H. K. and Ryou, Y. S.: *Solar Energy*, **11**(3), 53(1991).