

Stearic acid의 열저장 특성 연구

강민필, 송윤섭, 오인환*, 이영우
충남대학교 화학공학과
한국과학기술연구원*

Heat Storage Characteristics of Stearic Acid

Min-Pil Kang, Yun-Seob Song, In-Hwan Oh*, Young-Woo Rhee
Department of Chemical Engineering, Chungnam National University
Korea Institute of Science and Technology*

1. 서론

사회·경제적인 생산활동의 증가로 에너지의 수요가 급격하게 증가함과 동시에 에너지 소비의 불일치를 해결하기 위해 에너지 저장에 관한 연구가 요구되고 있다[1]. 에너지 저장 시스템은 에너지의 공급원과 사용처의 중간자적 위치에 있으면서 저급의 에너지를 고급화하고 분산된 에너지를 집중화 시켜주는 효과를 갖는다. 에너지 저장 방법에서 열적, 화학적, 기계적, 전자기적인 방법 등이 알려져 있으며, 이러한 여러 가지 저장 방법 중 잠열 저장 방법이 가장 효과적이라고 알려져 있다. 잠열 저장 방법은 현열 저장 방법에 비해 단위부피당 열에너지의 저장용량이 커서 장치의 규모를 줄일 수 있다는 장점이 있다. 또한 잠열 저장 방식은 사용되는 잠열재의 상전이가 거의 일정한 온도범위에서 일어나게 되므로 회수되는 에너지의 질이 균일하다는 장점이 있다[2]. 이러한 잠열 축열 시스템에 관한 연구는 축열재의 중요한 성질인 높은 축열밀도, 높은 열전도도, 화학적 안정성 및 낮은 부식성 등을 만족시키는 잠열 물질에 대한 연구가 집중적으로 이루어져 왔다[2~3].

열저장 시스템에서 상변화물질(PCMs : Phase Change Materials)이 갖추어야 할 조건[3]으로는 다음과 같은 것들을 들 수 있다. ① 단위부피 및 단위무게당 축열용량이 커야 한다. ② 비열이 커야 한다. ③ 증기압이 작아야 한다. ④ 열전도도가 커야 한다. ⑤ 결정화 속도가 크고 과냉각 현상이 작아야 한다. ⑥ 일정한 온도에서 상변화가 일어나야 한다. ⑦ 상변화에 따른 부피변화가 작아야 한다. ⑧ 독성이나 인화성이 없어야 한다. ⑨ 화학적으로 안정해야 한다. ⑩ 상변화 온도가 사용온도 범위와 일치해야 한다. ⑪ 가격이 저렴하고 쉽게 구할 수 있는 물질이어야 한다. 그동안 저온영역의 축열재료에 대해 많은 연구가 이루어졌으나, 상변화 물질이 갖추어야 할 조건을 모두 만족시키는 물질은 아직까지 발견하지 못했기 때문에, 사용목적에 맞는 적절한 축열물질의 선정이 중요하다.

일반적으로 100℃ 이하의 용융점을 갖는 축열재는 공간난방, 가정용 온수공급, 온실난방, 태양열 난방 등의 용도로 사용되는데 이러한 온도 범위에서 사용되는 상변화 물질로는 크게 무기염의 수화물, 파라핀 및 유기물, 그리고 공용 혼합물로 분류할 수 있다. 무기염의 수화물은 일반적으로 유기물과 비교하여 높은 잠열량을 갖지만, 용융시 과냉각 현상을 보이며 비조화용융(incongruent melting) 현상으로 인해 상분리 현상이 일어나는 문제점을 가지고 있다. 이러한 두가지 현상은 잠열을 원활하게 이용하지 못하게 하는 가장 큰 원인으로 축열

성능의 저하를 가져온다[4]. 그동안 수화물 축열재의 연구는 이러한 문제점을 해결하는데 집중되어 왔다[1, 5]. 공융 혼합물을 축열재로 사용하는 경우에는 다양한 혼합물에 대한 상평형도(phase diagram)를 작성하여 혼합물의 조성을 결정한다[6].

보통 무기염 수화물에 비해 낮은 잠열량을 갖는 파라핀 및 유기물은 수화물에 비해 값이 싸고, 사용할 수 있는 온도 범위가 다양하며 상분리 및 과냉각 현상이 없다는 큰 장점을 가지고 있다[7]. 축열매체로 사용되는 대표적인 유기물은 acetamide, stearic acid, palmitic acid, lauric acid 등과 그 들의 혼합물이다. 이러한 유기물은 저온 축열물질로 적합한 30℃에서 80℃의 온도범위에서 용융점을 가지며 상전이(phase transition)가 일어나는 동안 큰 부피변화가 일어나지 않는다. 또한 화학적 안정성이 좋고, 낮은 증기압을 갖고, 독성 및 부식성이 없다는 등의 축열물질로 갖추어야 할 여러 조건을 만족하고 있다[7].

본 연구에서는 여러 가지 유기물 PCM 중 가정용 소형 난방 시스템에 적합한 온도 범위를 갖는 stearic acid에 대해 축열 특성을 조사하고, 장기 사이클 실험을 통해 장기적인 안정성을 테스트하였다.

2. 실험

PCM의 열저장 특성을 조사하기 위한 실험 장치는 Fig. 1에 나타내었다. PCM의 가열 및 냉각을 위해 사용된 heating/cooling vessel내의 열전달 유체(HTF : heat transfer fluid)는 증류수(80 vol.%)와 에틸렌글리콜(20 vol.%)의 혼합물이다. 열전달 유체의 온도는 각 시료에 맞게 30℃에서 90℃ 사이의 온도 범위에서 조작되었으며, PCM과 열전달 유체의 온도는 내부에 설치된 열전대를 통해 관찰하였다. 열전달 유체의 냉각은 열교환기를 사용하여 온도를 낮추었다.

본 실험에 사용된 유기물 PCM은 문헌조사를 통해 stearic acid를 선정하였으며, 시약용과 공업용 각각에 대한 열저장 특성을 조사하였다. 선정된 PCM에 대한 용융점 및 잠열량의 변화는 TA-instrument사의 DSC 2010을 사용하여 측정하였다.

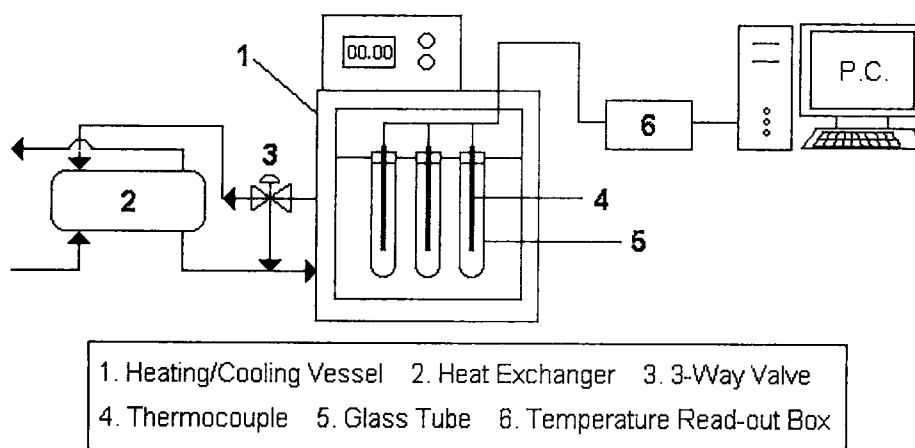


Fig. 1. Temperature change test unit for PCMs.

3. 결과 및 토론

다양한 유기물 PCM 중 본 실험에서는 가정용 난방 시스템에 적합한 용융점을 갖는 stearic acid(시약용, 공업용)를 잠열재로 선정하여 열저장 특성을 조사하였다.

공업용 stearic acid에 대한 DSC 분석 결과를 Fig. 2 (a)에 나타내었고, 그림에서 볼 수 있듯 용융점은 57°C이고, 다른 수화물계 PCM에 비해 낮은 206J/g의 잠열량을 갖는다. 본 시료에 대한 가열 및 냉각 실험 결과를 Fig. 3 (a)에 나타내었으며, 열전달 유체의 온도는 30~80°C의 온도 범위에서 조작하였다. 실험결과에서 볼 수 있듯 15 사이클 동안 큰 축열 성능의 저하는 없음을 알 수 있다. 실험 결과 시료의 축열 과정에서 뚜렷한 상전이 온도를 보이지 않고 약 45°C에서부터 52°C 사이의 온도 범위에서 시료가 용융된다. 방열 과정에서는 Fig. 3 (a)에 나타내었듯이 수화물계 PCM에서 큰 문제점으로 지적되고 있는 과냉각 현상이 나타나지 않고 상전이가 54°C 근처에서 일정하게 일어나게 된다. 10회의 가열 및 냉각 실험 후 측정된 잠열량은 208J/g으로 초기 잠열량과 거의 동일한 값을 보이며, 15 사이클 후의 시료 역시 207J/g을 보여 15 사이클 동안 축열 성능의 저하는 일어나지 않았음을 알 수 있다. 15 사이클 동안의 잠열량은 초기의 값과 비교했을 때 1% 미만의 변화를 보이고, 이는 DSC 분석의 오차 범위에 해당되는 값이기도 하다. 10 사이클 후 측정된 용융점은 초기의 용융점과 동일한 57°C로 나타났으며, 15 사이클의 축열 후에는 56°C로 나타났다. 또한 15 사이클 후에 측정된 시료의 부피변화도 거의 일어나지 않았다. 따라서 15회의 축열 및 방열과정 동안 공업용 stearic acid의 축열 성능은 저하되지 않았음을 알 수 있다.

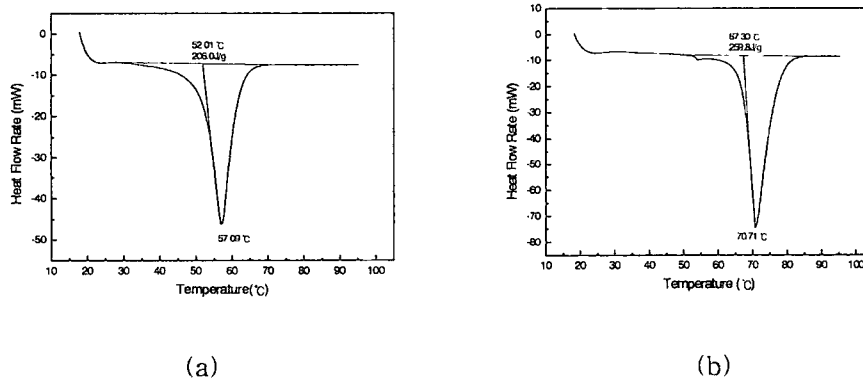


Fig. 2. DSC measurement of the latent heat of fusion and melting temperature.
 (a) Commercial-grade stearic acid at zero cycle
 (b) Pure stearic acid at zero cycle

시약용 stearic acid는 70°C의 용융 온도를 보이며, 260J/g의 잠열량을 가지고 있고[Fig. 2 (b)], 이는 공업용 stearic acid보다 높은 용융점과 잠열량을 나타내고 있다. 열전달 유체의 온도를 30~90°C의 온도범위에서 변화시켜 가며 수행한 시약용 stearic acid의 가열 및 냉각 실험결과를 Fig. 3 (b)에 나타내었다. 공업용 stearic acid와 마찬가지로 15회 사이클 동안 일정한 온도범위에서 안정적으로 축열 및 방열 과정이 일어남을 확인할 수 있다.

Fig. 4는 공업용 stearic acid에 대한 장기 사이클 실험 결과를 나타낸 것이다. 150회의 가열 및 냉각 실험 동안 상분리 혹은 과냉각 현상이 전혀 발생하지 않았으며, 또한 부피 변화도 나타나지 않는 등 축열 성능의 저하는 일어나지 않았다.

유기물 PCM이 가정용 난방 시스템에 적용되기 위해서는 1500회 이상의 축·방열 과정에서 안정된 축열 성능을 나타내야 한다. 본 실험에서는 공업용 stearic acid와 시약용

stearic acid에 대해 기초적인 축열 성능을 조사하고, 공업용 stearic acid에 대한 150회의 장기 사이클 실험을 수행하였다. 그러나 향후 stearic acid를 사용한 유기물 PCM을 실제 난방 시스템에 적용하기 위해서는 1500회 이상의 축열특성에 대한 연구가 이루어져야 한다.

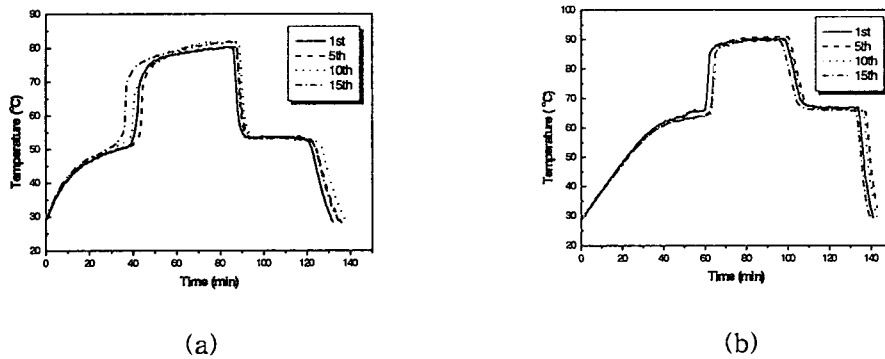


Fig. 3. Temperature change of (a) commercial-grade and (b) pure stearic acid.

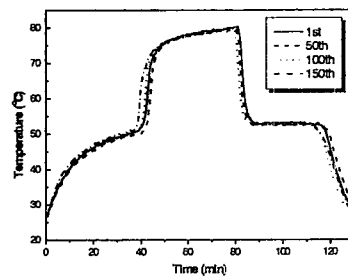


Fig. 4. Temperature change of commercial-grade for 150 cycle.

감 사

이 연구는 과학기술부 지원으로 수행하는 중점국가연구개발사업(온실가스저감기술연구)의 일환으로 수행되었습니다.

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(2), 151(1999).
- [2] Lee, M. K. and Han, G. Y. : HWAHAK KONGHAK, 35(5), 755(1997).
- [3] Abhat, A. : Solar Energy, 30(4), 313(1983).
- [4] Schröder, J. and Gawron, K. : Energy Research, 5, 103(1981).
- [5] Lee, M. H., Song, Y. S., Rhee, Y. W. and Oh, I. H. : HWAHAK KONGHAK, 38(3), 429(2000).
- [6] Yoneda, N. and Takanashi, S. : Solar Energy, 21, 61(1978).
- [7] Feldman, D., Shapiro, M. M., Banu, D. and Fuks, C. J. : Solar Energy, 18, 201(1989).