

상변화축열재의 물성안정과 열특성 분석

장진택* · 유영선 · 윤진하 · 손정익¹ · 김영중 · 강금춘 · 송현갑²
농업기계화연구소 · ¹서울대학교 원예학과 · ²충북대학교 농업기계공학과

Stabilization of Physical Properties and Thermal Characteristic Analysis of Phase Change Material

Chang, J.T.* · Ryou, Y.S. · Yun, J.H. · Son, J.E.¹ · Kim, Y.J. · Kang, G.C. · Song, H.K.²
National Agricultural Mechanization Research Institute
¹Department of Horticulture, Seoul National University
²Chungbuk National University, Dept. of Agricultural Machinery Engineering

Abstract

This study was performed to stabilize the physical properties of Sodium Carbonate Decahydrate that was selected as a highly concentrative thermal energy storage medium.

The addition of ARS(additives to prevent supercooling) showed to prevent the supercooling of $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, and the supercooling was decreased below 1.5°C with ARS of 3 wt% and the addition of PSC(phase separation controller) of 1.5 wt% controlled the phase separation of $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ with the phase change cycles increased from 0 to 1,500, the phase change temperature and the latent heat has changed in the range of $30 \pm 1.0^\circ\text{C}$ and $54 \pm 2.0 \text{Kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ respectively.

주 제 어 : 온실, 난방, 축열, 상변화물질

Key words : thermal energy storage, phase change material, sodium carbonate decahydrate

* corresponding author

서 언

열에너지는 끊임없이 고온에서 저온체로 전달되는 동적 특성을 가지고 있기 때문에 시차를 두고 이를 이용하기 위해서는 저장시스템과 그 매체가 필요하다. 현재는 저밀도에

너지를 주로 물, 토양 등을 이용한 현열축열법이 이용되고 있으나 현열축열법은 단위 체적당 축열용량이 작기 때문에 대단위 축열시스템에 있어서는 규모가 커지는 단점이 있으며, 현열재의 비열을 이용하여 열을 저장하기 때문에 방열시 일정한 온도의 열공급이 불가

능하다.

이에 비하여 잠열축열법은 물질의 상이 변화하는 동안 흡수하거나 방출하는 잠열을 이용하기 때문에 일정한 열공급이 가능하고, 축열용량도 대표적인 현열재인 물보다 4~5배 크기 때문에 축열시스템의 용적을 축소할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 열에너지를 효과적으로 저장하기 위하여 축열매체인 상변화매체의 물성을 안정시키고 열특성 분석을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

본 연구에서는 개발 대상 물질로서 수화염 중 잠열량이 크고 상변화 온도가 33°C인 Sodium Carbonate Decahydrate (SCD, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)를 선택하였으며, 과냉각 및 상분리 현상을 제어하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

축열제로 선정된 SCD의 과냉각 현상은 조핵제로 알려진 APS를 첨가하여 해결하였고, 첨가량을 0.0 ~ 5.0wt%까지 변화시키면서 과냉도를 측정하여 최적 첨가량을 결정하였다.

SCD는 액상에서 온도가 높아짐에 따라 용해도가 낮아지면서 Na_2CO_3 이 분리되어 침전이 일어나게 되며, 상변화 사이클이 반복됨에 따라 침전량은 점점 증가하여 결국에는 축열재로서의 기능을 상실하게 된다. 이와 같은 상분리 현상을 제어하기 위하여 SCD의 상분리 현상을 방지하기 위한 흡착제로서 PSC를 첨가하였고, 축열재에 PSC를 0.0 ~ 3.0wt% 첨가하여 상분리량을 측정하여 상분리가 발생하지 않는 최소 첨가량을 결정하였다.

이상과 같은 방법으로 물성을 안정시킨 잠열축열재의 잠열량을 측정하기 위하여 Fig. 1 같이 Differential Scanning Calorimeter(DSC) 사용하였고, 축열재의 내구성 검증을 위해서는 Fig. 2 같은 상변화 사이클 시험장치를 제



Fig. 1 Differential Scanning Calorimeter.

작하여 상변화 사이클을 1,500회까지 반복하면서 상변화 온도 및 잠열량 변화를 측정하여 장기간 사용하는 경우의 잠열 효과를 분석하였다.

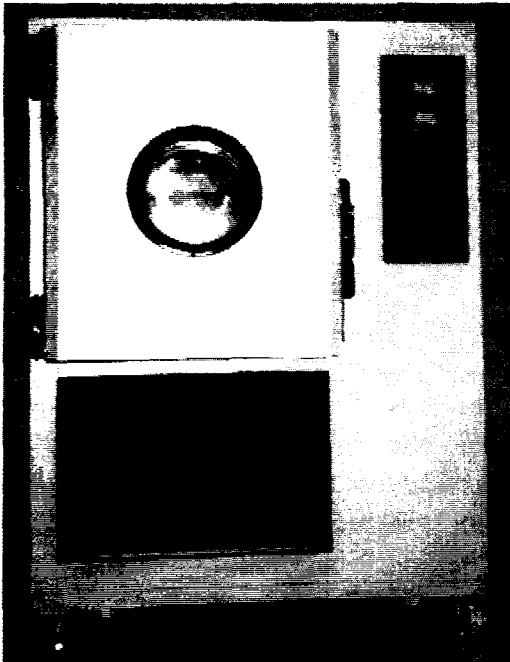


Fig. 2 Phase change cycle tester.

결과 및 고찰

1. 축열재의 과냉각 제어

Fig. 3 에서 보는 바와 같이 축열재의 과냉 현상을 최소화하기 위하여 APS를 0.0 ~ 5.0wt%로 첨가시키면서 SCD의 과냉을 분석한 결과, APS 첨가량 0.0wt%에서는 과냉온도가 25.0°C였으나, 3.0wt%이상에서는 과냉온도가 1.5°C이하로 감소하였다. 따라서 APS를 3.0wt%이상 첨가하므로써 과냉각을 효율적으로 제어할 수 있다.

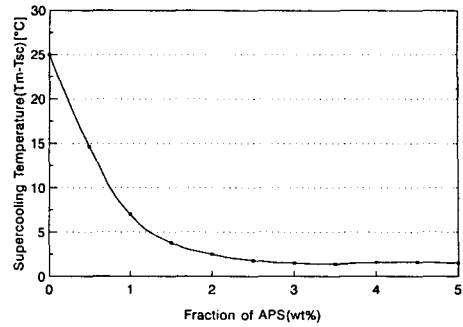


Fig. 3 Supercooling control by APS as nucleating agents.

2. 축열재의 상분리 제어

SCD의 상분리 현상을 효과적으로 제어하기 위하여 PSC를 첨가하였으며, 첨가량을 0.0 ~ 3.0wt%까지 변화시켜 가며 SCD의 상분리량을 측정된 결과, Fig. 4 에서 보는 바와 같이 0.0wt%에서는 상분리량이 70.0%, 0.5wt%에서는 30%, 1.0wt%에서는 15%로 나타났고, 1.5wt% 이상에서는 상분리 현상이 완전히 제거되었다.

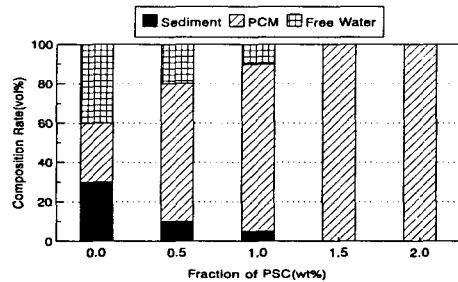


Fig. 4 Controlled phase separation of SCD($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

3. 축열재의 열특성 분석

저온 상변화 물질로 선택한 10수 탄산나트륨($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)은 Table 1에서 보는 바와 같이 상변화 온도 30~33°C, 잠열량 $59.0\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$, 몰중량 $286.14\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 비중량 $1,460\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 으로 나타났다.

SCD의 과냉각 시험과 상분리 제어효과 시험을 실시하여 축열재 10수 탄산나트륨 95.5wt%에 과냉각 제어제인 APS를 3.0wt%, 상분리 제어제 PSC를 1.5wt%로 구성된 물성이 안정된 축열재를 조성하였다.

현상을 효과적으로 제어하여 물성이 안정된 잠열축열재의 내구성을 검증하기 위하여 Fig. 2의 시험 장치를 이용하여 1,500회까지 상변화 사이클을 수행하면서 상변화 온도, 잠열량 등의 열특성 변화를 측정하였으며, 그 분석 결과는 Table 3과 같다.

4. 축열재의 내구성 검증

상변화 온도를 조절하고, 과냉 및 상분리

상변화 사이클을 1,500회까지 증가시켰을 때 잠열축열재의 상변화 온도는 표3에서 보

Table 1. Thermophysical properties of Na₂CO₃ · 10H₂O

Phase change temperature (°C)	Latent heat (kcal/kg)	Specific heat (kcal/kg °C)		Molecular weight (g/mol)	Density (kg/m ³)
		Solid	Liquid		
33.0	59.0	0.74	0.85	286.14	1,460

Table 2. Chemical composition of Na₂CO₃ · 10H₂O

Materials	Content(wt%)
Na ₂ CO ₃ · 10H ₂ O	95.5
APS	3.0
PSC	1.5
Total	100.0

Table 3. Thermophysical properties of Na₂CO₃ · 10H₂O according to the Phase change cycles

Number of phase change cycle		0	500	1,000	1,500
		Thermal properties			
Phase change temp.(°C)		31.0	31.5	30.8	31.8
Specific heat (kcal/kg °C)	Solid ^{z)}	0.302	0.487	0.567	0.572
	Liquid ^{y)}	0.498	0.674	0.716	0.720
Latent heat(kcal/kg)		53.1	54.0	55.0	54.4

z) measured at 20°C, y) measured at 40°C

는 바와 같이 ΔT 가 $30 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 이하의 범위에서 안정된 값을 보였으며, 상변화 사이클의 증가에 따른 잠열량 변화량도 $54 \pm 2.0 \text{ Kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이하로서 안정된 값을 보였다. 여기서 상변화 사이클의 증가가 잠열축열재의 상변화 온도와 잠열량 변화에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 따라서 이상의 결과로 볼 때 축열재의 수명은 10년까지 보장될 수 있는 것으로 판단되었다.

적 요

저밀도 에너지를 효율적으로 축열하기 위해서 현열축열재보다는 상변화 온도 30°C 수준의 잠열축열재를 이용하는 것이 효과적이다. 이를 위하여 연구를 수행한 결과, SCD에 APS를 0.0~5.0wt% 첨가하여 과냉도를 25.0°C 에서 1.5°C 이하로 조절하였으며, APS의 적정 함량은 3.0wt%였다. SCD에 PSC를 0.0~3.0wt% 첨가하여 상분리량을 70.0%에서 0.0%로 조절하였으며, PSC의 적정 함량은 1.5wt%였다. 축열재 내구성 검증을 위하여 0~1,500회의 상변화 사이클을 수행한 결과 상변화 온도의 변화량이 $30 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 이하, 잠열량 변화가 $54 \pm 2.0 \text{ Kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이하로 안정된 값을 보였다. 따라서 축열재의 수명은 10년 정도 보장될 수 있는 것으로 판단되었다.

인용문헌

1. 김유호. 1992. 잠열재를 이용한 잠열형 온돌시스템 개발 연구. 충북대학교 석사학위논문.
2. 송현갑. 1991. 겨울철 시설농업 보온을 위한 태양에너지 고농축 잠열저장 시스템 개발. 과학기술처 연구보고서.
3. 송현갑. 1996. 상변화 냉축열 물질 개발 및 열특성 분석. 한국과학재단 연구보고서.

4. 송현갑, 유영선, 박종길, 노정근. 1997. 농산물 저온 저장을 위한 $\text{H}_2\text{O} - \text{NaCl}$ 혼합물의 축열 특성. 한국태양에너지학회 17(3) : 23-33.
5. 송현갑, 유영선, 노정근, 박종길. 1997. 시설농업의 열환경조절을 위한 저온 상변화 물질의 축열 특성. 한국생물생산시설환경학회 6(3) : 216-224.
6. 송현갑. 1997. 자연에너지를 이용한 온실 난방시스템 개발. 농림부 연구보고서.
7. 유영선, 송현갑. 1992. 그린하우스 보온을 위한 태양에너지-잠열축열시스템의 개발. 충북대학교 박사학위논문.
8. 임장순, 최국광, 김준근, 김영기, 김일점, 김동춘. 1995. 직육면체형 잠열축열조내 상변화물질의 열전달특성에 관한 연구. 한국태양에너지학회 15(1) : 3-11.
9. 장진택, 김영중, 유영선, 강금춘. 1997. 상변화 물질을 이용한 고효율 축열시스템 개발. 농업기계화연구소 시험연구보고서 : 499-502.
10. Christopher, M. L. and D. C. Craig Noble. 1991. Making ice thermal storage first - cost competitive. ASHRAE Journal, 33(5) : 19-22.
11. George, A. L. 1983. Solar heat storage latent heat material. Co : CRC Press, Vol. I : 115-152.
12. 井上良則. 1992. 氷蓄熱の最新技術と導入事例. 設備と管理 26(6) : 41-47.
13. Reiss, H. 1952. Theory of the liquid drop model. Ind, Eng. Chem. 44 : 1284.
14. Reiss, H. 1952. The statistical mechanical theory of irreversible condensation. I, J. Chem. Phys. 20 : 1216.