

상변화 물질을 이용한 고효율 축열시스템 개발

Development of Phase Change Thermal Energy Storage System

장진택 · 유영선 · 윤진하 · 김영중 · 장유섭 · 강금춘

농업기계화연구소

J. T. Chang · Y. S. Ryou · J. H. Yun · Y. J. Kim · Y. S. Chang · G. C. Kang

National Agricultural Mechanization Research Institute

서언

겨울철 시설농업의 난방비는 생산비의 40%에 달하고 있다. 따라서 국내의 시설농업이 국제 경쟁력을 가지기 위해서는 과도한 난방비 지출을 억제할 수 있는 방법을 개발하여야 하며, 생산비 중 난방비의 비중을 줄이기 위하여는 첫째 단열효과가 우수한 보온재를 개발하여야 하고, 다음 단계에서는 국제유류가격의 폭등에 대비하여 현재 온실난방에 사용하고 있는 화석에너지의 의존도를 줄이고 태양에너지를 적극적으로 이용할 수 있는 방법을 개발하여야 한다.

태양에너지를 시설농업에 적극적으로 이용하기 위해서는 주간에 낮은 태양에너지를 고밀도로 축열하여 기온이 급강하하는 야간에 활용하여야 한다.

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

따라서 본 연구는 15~30℃에서 상변화가 일어나는 잠열축열재를 선정하여 온실난방에 이용할 수 있는 기초기술을 개발할 목적으로 수행되었다.

재료 및 방법

주간의 온실에 남아도는 태양에너지를 저장하기 위해서는 상변화 온도 15~30℃ 수준의 축열재 개발이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 개발 대상 물질로서 수화염 중 잠열량이 크고 상변화 온도가 33℃인 Sodium Carbonate Decahydrate (SCD, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)를 선택하였으며, SCD의 상변화 온도를 조절하고, 과냉각 및 상분리 현상을 제어하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

축열재로 선정한 SCD의 과냉각 현상은 조핵제로 알려진 Borex ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)를 첨가하여 해결하였고, 첨가량을 0.0~5.0wt%까지 변화시키면서 과냉도를 측정하여 최적 첨가량을 결정하였다.

SCD는 액상에서 온도가 높아짐에 따라 용해도가 낮아지면서 Na_2CO_3 가 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 Carbopol을 첨가하였고, 축열재에 Carbopol을 0.0~3.0wt% 첨가하여 상분리량을 측정하여 상분리가 발생하지 않는 최소 첨가량을 결정하였다.

이상과 같은 방법으로 물성을 안정시킨 잠열축열재의 잠열량을 측정하기 위하여 Differential Scanning Calorimeter(DSC)사용하였고, 축열재의 내구성 검증을 위해서는 상변화 사이클 시험장치를 제작하여 상변화 사이클을 1,500회까지 반복하면서 상변화 온도 및 잠열량 변화를 측정하여 장기간 사용하는 경우의 잠열효과를 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 축열재의 과냉각 제어

그림 1에서 보는 바와 같이 축열재의 과냉현상을 최소화하기 위하여 Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)를 0.0~5.0wt% 첨가하여 SCD의 과냉을 분석한 결과 Borax 첨가량 0.0wt%에서는 과냉도가 25.0℃였으나, 3.0 wt%이상에서는 과냉온도가 1.5℃이하로 효과적으로 제어되었다.

2. 축열재의 상분리 제어

SCD의 상분리 현상을 효과적으로 제어하기 위하여 Acrylic acid polymer의 일종인 Carbopol을 첨가하였으며, 첨가량을 0.0wt%에서 3.0wt%까지 변화시켜가며 SCD의 상분리량을 측정한 결과 그림 2에서 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.

3. 물성이 안정된 축열재의 조성

저온 상변화 물질로 선택한 10수 탄산나트륨($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)은 표 1에서 보는바와 같이 상변화 온도 30~33℃, 잠열량 59.0kcal/kg, 물중량 286.143g/mol, 비중량 1,460kg/m³로 나타났다.

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

4. 축열재의 내구성 검증

상변화 온도를 조절하고, 과냉 및 상분리 현상을 효과적으로 제어하여 물성이 안정된 잠열축열재의 내구성을 검증하기 위하여 그림 2의 시험 장치를 이용하여 1,500회까지 상변화 사이클을 수행하면서 상변화 온도, 잠열량 등의 열특성 변화

를 측정하였으며, 분석 결과는 다음과 같다.

상변화 사이클을 1,500회까지 증가시켰을 때 잠열축열재의 상변화 온도는 표3에서 보는 바와 같이 $\Delta T = \pm 1.0^\circ\text{C}$ 이하의 범위에서 안정된 값을 보였으며, 상변화 사이클의 증가에 따른 잠열량 변화량도 $\pm 2.0 \text{ kcal/kg}$ 이하로서 안정된 값을 보였다. 여기서 상변화 사이클의 증가가 잠열축열재의 상변화 온도와 잠열량 변화에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 따라서 이상의 결과로 볼 때 축열재의 수명을 10년까지는 보장할 수 있는 것으로 판단되었다.

적요

현재 온실 난방에 주로 이용되고 있는 난방기는 대부분이 화석에너지를 연료로 사용하고 있다. 따라서 생산비의 가중이 불가피하며, 또한 연소 과정에서 발생하는 배기 가스로 인하여 환경 오염이 문제시되고 있다. 따라서 태양에너지를 보다 더 적극적으로 활용할 수 있는 기술의 개발이 요구된다.

태양에너지를 시설 농업에 적극적으로 이용하기 위해서는 주간에 밀도가 낮은 태양에너지를 고밀도로 축열하여 기온이 급강하하는 야간의 보온에 활용하여야 한다. 주간의 온실내 잉여 태양에너지를 축열할 수 있는 상변화 온도 30°C 수준의 잠열축열재를 개발하기 위하여 수행한 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. SCD에 Borax를 0.0~5.0wt% 첨가하여 과냉도를 25.0°C 에서 1.5°C 이하로 조절하였으며, Borax의 적정 함량은 3.0wt%였다.
2. SCD에 Carbopol을 0.0~3.0wt% 첨가하여 상분리량을 70.0%에서 0.0%로 조절하였으며, Carbopol의 적정 함량은 1.5wt%였다.
3. 축열재 내구성 검증을 위하여 0 ~ 1,500회의 상변화 사이클을 수행하였다. 이때 상변화 온도의 변화량이 $\pm 1.0^\circ\text{C}$ 이하, 잠열량 변화가 $\pm 2.0 \text{ kcal/kg}$ 이하로서 안정된 값을 보였다. 이상의 결과로 볼 때 축열재의 수명을 10년까지는 보장할 수 있는 것으로 판단되었다

표 1. 축열재의 물리적 특성

Phase Change Temperature ($^\circ\text{C}$)	Latent Heat (kcal/kg)	Specific Heat (kcal/kg $^\circ\text{C}$)		Molecular Weight (g/mol)	Density (kg/m^3)
		Solid	Liquid		
33.0	59.0	0.74	0.85	286.143	1,460

표 2. 물성이 안정된 축열재 조성

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

표 3. 상변화 사이클에 따른 축열재의 상변화 온도, 비열, 잠열량 변화

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*	0.302	0.487	0.567	0.572
	Liquid**	0.498	0.674	0.716	0.720
Latent Heat(kcal/kg)		53.1	54.0	55.0	54.4

* : 20°C에서 측정, ** : 40°C에서 측정

그림 1. 축열재의 과냉각 제어 효과

SSD : $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ SCD : $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

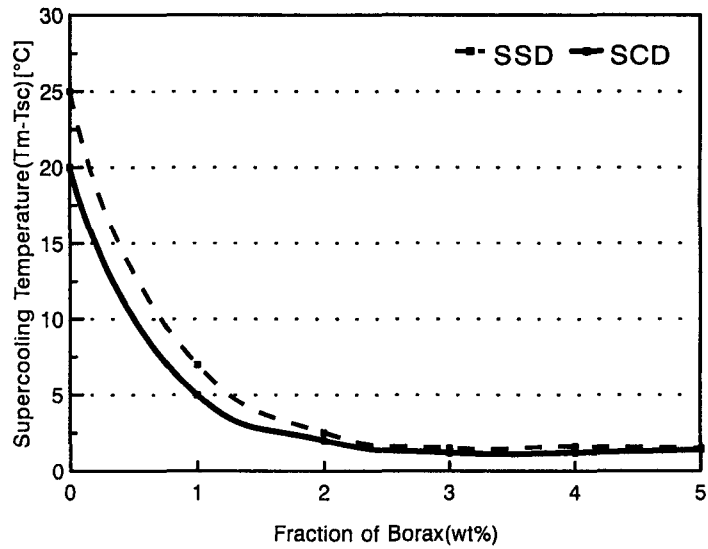
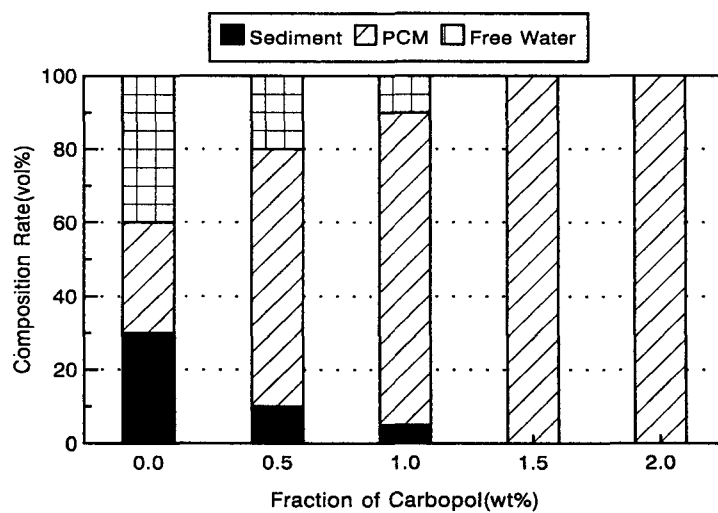


그림 2. 축열재의 상분리 제어 효과



참고문헌

- (1) 김유호. 1992. 잠열재를 이용한 잠열형 온돌시스템 개발 연구. 충북대학교
- (2) 송현갑. 1996. 상변화 냉축열 물질 개발 및 열특성 분석. 한국과학재단
- (3) 송현갑·유영선·박종길·노정근. 1997.9. 농산물 저온 저장을 위한 H₂O - NaCl 혼합물의 축열 특성. 한국태양에너지학회
- (4) 송현갑·유영선·노정근·박종길. 1997.9. 시설농업의 열환경조절을 위한 저온 상변화 물질의 축열 특성. 한국생물생산시설환경학회
- (5) 유영선. 1992. 그린하우스 보온을 위한 태양에너지-잠열축열시스템의 개발. 충북대학교
- (6) 임장순·최국광·김준근·김영기·김일겸·김동춘. 1995.12. 직육면체형 잠열축열조내 상변화물질의 열전달특성에 관한 연구. 한국태양에너지학회
- (7) 장진택·김영중·유영선·강금춘. 1997. 상변화 물질을 이용한 고효율 축열시스템 개발. 농업기계화연구소
- (8) 충북대학교. 1991. 겨울철 시설농업 보온을 위한 태양에너지 고농축 잠열저장 시스템 개발. 과학기술처
- (9) 충북대학교. 1997.. 자연에너지를 이용한 온실 난방시스템 개발. 농림부