

상변화물질을 이용한 고효율 축열시스템 개발

Development of Phase Change Thermal Energy Storage System

장진택* · 유영선 · 윤진하 · 김영중 · 강금춘

농업기계화연구소

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

National Agricultural Mechanization Research Institute

연구배경

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 일정한 온도에서 열을 흡수하거나 방출하는 잠열을 이용하기 때문에 일정한 온도의 열공급이 가능하고, 축열용량도 대표적인 현열재 물보다 4~5배 크기 때문에 축열시스템의 용적을 축소할 수 있는 장점이 있다.

따라서 본연구는 저온에서 상변화가 일어나는 잠열축열재를 이용하여 온실난방에 이용할 수 잠열축열시스템을 개발할 목적으로 수행되었다.

재료 및 방법

주간의 온실에 남아도는 태양에너지를 효율적으로 저장하기 위해서는 상변화물질을 이용한 축열시스템 개발이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 개발된 수화염 중 잠열량이 크고 상변화 온도가 33℃인 10수 탄산나트륨 혼합물(SCD, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)을 축열재로 사용하였다.

표 1. 축열재의 물리적 특성

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	286.143	1,460

본연구에서 제작한 축열시스템의 열전달 방식은 원통좌표계의 일차원 비정상 열전달이며, 편미분방정식을 이용하여 다음과 같은 지배방정식을 구성하였다.

$$\rho c \cdot \partial T / \partial t = k(\partial^2 T / \partial r^2 + 1/r \cdot \partial T / \partial r)$$

여기서 ρc = 단위체적당 상변화물질의 열용량(kcal/m³°C)

T = 온도(°C)

t = 시간(sec)

k = 상변화물질의 비열

r = tube의 반경(m)

축열시스템은 축열재의 상변화 과정 반복에 따른 증력에 의한 침전을 방지하기 위하여 핀·튜브방식의 복층구조로 설계 제작하였으며, 열펌프 또는 외부의 열원을 2중코일로 된 열교환장치에서 열매체에 열교환시키며, 펌프로 폐회로의 열매체를 순환시켜 축열조 속의 축열재가 상이 변하면서 많은 양의 열을 축열 또는 방열토록 제작하였다.

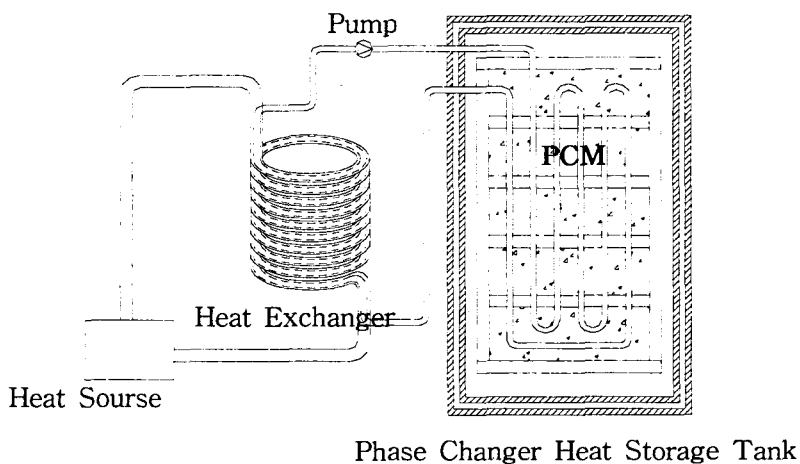


그림 1. 축열시스템 구조

결과 및 고찰

1. 축열 시스템의 열교환성능

그림 2는 가열과정의 온도변화를 나타낸 것이다. 열매체의 입출구 온도차는 가열과정 초기에는 6°C 이상이었으나 축열재의 상변화과정이 이루어지고 난 후기의 온도차는 3°C 정도로 나타났으며, 가열과정 중 상변화가 이루어지는 시간은 약 2시간으로 나타났으며 30°C에서 상변화 과정이 진행되는 것으로 나타났다.

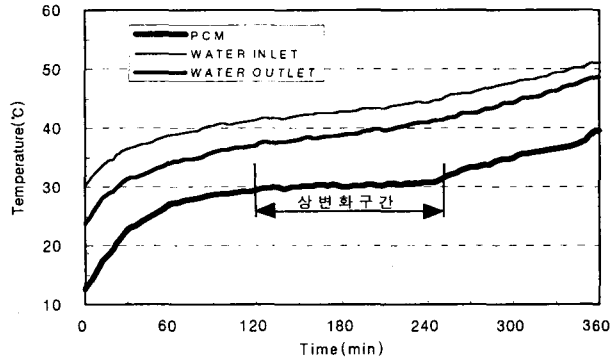


그림 2. 가열과정 온도변화

그림 3은 냉각과정의 온도변화를 나타낸 것이다. 열매체의 입출구 온도차는 가열과정과 같이 초기에는 6°C 이상이었으나 축열재의 상변화과정이 이루어지고 난 후기의 온도차는 3°C 정도로 나타났으며, 30°C에서 1차 상변화과정이 진행되고 28°C에서 2차 상변화과정이 진행되는 것으로 나타났으나 전체적으로는 30~28°C에서 계속적인 상변화과정이 나타났으며 진행시간은 약 3시간으로 나타났다.

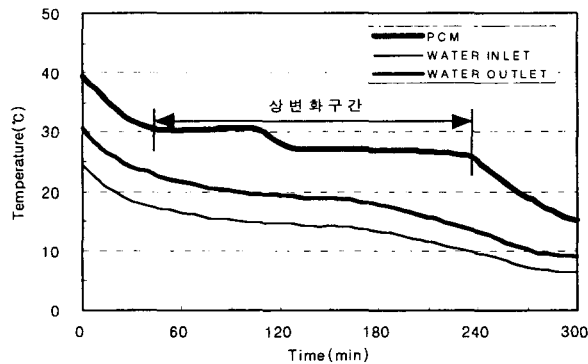


그림 3. 냉각과정 온도변화

그림 4는 축열재를 700kg 주입하여 축열성능과 방열성능을 측정한 결과 축열재의 축열량은 37,818kcal, 방열량은 36,228kcal로 나타났다. 이상의 결과로 볼 때 축열시스템의 효율은 95.8%로 나타났다.

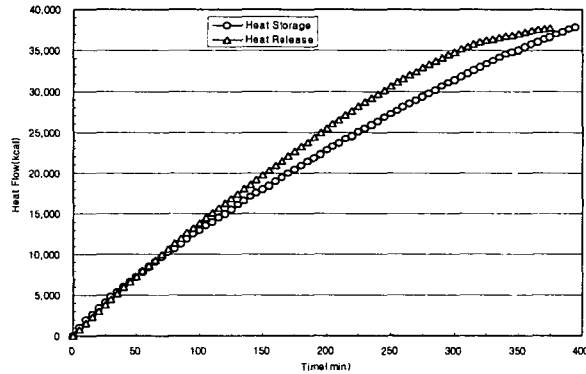


그림 4. 축열시스템의 축열 및 방열량

적 요

1. 가열과정과 냉각과정의 열매체 입출구 온도차는 초기에 6℃이상이었으나 후기의 온도차는 3℃정도로 나타났으며, 가열과정 중 상변화가 이루어지는 시간은 약 2시간, 30℃에서 상변화과정이 이루어지며, 냉각과정은 30℃에서 1차 28℃에서 2차 상변화과정이 진행되는 것으로 나타났으나 30~28℃에서 계속적인 상변화과정이 나타났으며 진행시간은 약 3시간으로 나타났다.
2. 축열재를 700kg 주입하여 축열성능과 방열성능을 측정한 결과 축열재의 축열량은 37,818kcal, 방열량은 36,228kcal로 나타났다. 이상의 결과로 볼 때 축열시스템의 효율은 95.8%로 나타났다.

인용문헌

1. 송현갑. 1996. 상변화 냉축열 물질 개발 및 열특성 분석. 한국과학재단
2. 유영선 · 송현갑. 1992. 그린하우스 보온을 위한 태양에너지-잠열축열시스템의 개발. 충북대학교
3. 장진택 · 김영중 · 유영선 · 강금춘. 1998. 상변화 물질을 이용한 고효율 축열시스템 개발. 농업기계화연구소
4. 井上良則外. 1992. 氷蓄熱の最新技術と導入事例. 設備と管理 26(6)