

# 다관형 잠열축열장치의 축열특성연구<sup>+</sup>

— 물을 매체로 한 축열 및 방열과정 분석 —

## Study on the Thermal Storage Characteristics of a Multi-capsule type LTES System

— Analysis for Heat Charging and Discharging Process for Water Flow —

김영복\*

Y. B. Kim

### Summary

This study was designed to seek information on the heat charging and discharging characteristics of a multi-capsule type LTES(Latent Heat of Fusion Thermal Energy Storage) system, and especially prediction equation of outlet water temperature from the system. During heat charging process, the water temperature in the LTES tank increased very slowly in comparison with a predicted one and was kept near the melting point of the PCM for about 25 minutes. During heat discharging process, the latent heat discharging period of the outlet water temperature became longer as the inlet water temperature became higher and/or mass flow rate became lower. The dimensionless temperature of the outlet water was predicted by linking three equations of  $\theta = 1.1\text{Exp}(-\tau/0.82)$ ,  $\theta = -0.06\tau + 0.3$ ,  $\theta = 0.8\text{Exp}(-\tau/1.4)$  ( $r^2 \leq 0.88$ ) depending on discharging period regardless of mass flow rates on the case of the inlet water temperature at 21.5°C.

### I. 서론

축열시스템은 열사용설비의 용량을 감소시켜 설비비를 절약하거나 심야전력의 이용에 있어서 매우 유리하며, 열에너지의 공급과 수요변동 사이의 시간적간격을 극복하는데 있어서는 필수적이다. 축열시스템에서는 잠열축열방법이 잠열축열재의 상변화온도수준에서 다량의 축열이 가능하여 축열장치의 크기를 줄일 수 있는 장점이

있으며, 온도가 일정한 다량의 유체를 얻을 수 있는 장점도 있다.

잠열축열장치의 형태는 여러가지가 있으며<sup>5)</sup>, 김<sup>2,3)</sup> 등에 의한 이중관형, 평판형<sup>4)</sup> 등의 연구결과에 의하면 전열면적이 넓고 잠열축열물질의 이동경계단면적이 넓을수록 효율이 크게 나타나므로 이러한 관점에서 다관형잠열축열장치는 유리하다. 遠藤<sup>12)</sup> 등은 캡슐형축열장치의 입구와 출구온도의 차이, 유량에 따른 성능변화를 검토

+ 이 논문은 1992년도 교육부지원 학술진흥재단의 자유공모(지방대학육성)과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

\* 경상대학교 농과대학 농업기계공학과

한 바 있으며, Green-Vliet<sup>10)</sup>는 수치해석에 의해 축열조내부의 온도분포와 전열매체의 출구온도를 구하고 있다. 또한 伊藤<sup>11)</sup>은 이러한 축열장치를 분석함에 있어서 잠열량을 기준으로 축·방열량을 고려하는 것이 편리하다 하였고, 잠열온도와 축열조내 초기온도를 기준으로 온도를 무차원화하고, 시간을 무차원화할 때는 공급수의 질량유량과 잠열량을 포함하는 것이 편리하다 하였다.

본 연구에서는 다관형잠열축열장치의 실용화와 그 합리적 이용을 위해서 전기를 이용한 축열과정에서의 동력공급수준에 따른 축열장치내부의 온도변화를 분석하고, 방열과정에서 방열유체인 물의 공급온도와 유량의 수준에 따른 출구온도를 분석하므로써 잠열축열장치로서의 축·방열특성은 물론 그 이론예측방정식을 구하고자 하였으며, 그 결과는 장치의 설계와 응용에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

## II. 축열이론

축열물질에 저장되거나 방출되는 열량은 현열축열, 잠열축열 또는 화학축열인가에 따라 달라지는데 다관형잠열축열장치와 같이 장치내부에 잠열축열재를 봉입한 다수의 관이 있고 그 주위의 공간에 물을 충전한 경우에는 현열축열과 잠열축열이 동시에 이루어지게 된다. 축열장치내부의 온도와 물질의 온도에 따른 특성치가 균일하다고 보면 축열과정에서의 축열량은 다음과 같다.

$$Q_h = (M_w \cdot C_{pw} + M_p \cdot C_{pp} + M_t \cdot C_{pt}) \cdot (T - T_i) + M_p \cdot H_f \cdot i \dots\dots\dots (1)$$

그런데 축열과정에서 심야전기와 같이 전기에너지에 의해 잠열축열을 할 경우 공급된 에너지에 따라 축열조의 내부에너지가 증가하여 온도가 상승하게 되는데 이때 열손실이 없고 내부온도가 균일할 경우 그 온도는 다음 식으로 나타난다.

$$T \neq T_m \text{ 일 때 } T = (P \cdot t \cdot 860) / (M_w \cdot C_{pw} + M_p \cdot C_{pp} + M_t \cdot C_{pt}) + T_i$$

$$T_m \leq T \text{ 이고 } M_p \cdot H_f < P \cdot \Delta t \cdot 860 \text{ 일 때 } T = T_m \dots\dots\dots (2)$$

그리고 방열과정에서의 방열량은 축열조내부의 온도변화에 의한 관계식으로서 (1)식과 같은 형태로 표현되거나 축열조로 유입된 유체의 온도변화에 의한 다음 식으로 표현된다.

$$Q_c = \int M_{win} \cdot C_{pw} \cdot (T_{wout} - T_{win}) \cdot dt \dots\dots\dots (3)$$

한편 축열장치로부터 유출되는 물의 온도는 축열조내부의 초기온도와 유량, 그리고 공급수의 온도에 따라 변하게 되는데 출구에상온도의 일반성을 알아보기 위해 온도와 시간변수에 대해 무차원화하면 다음과 같다.

$$\theta = (T - T_{win}) / (T_i - T_{win}), \quad \tau = (M_{win} \cdot t) / M_{tank} \dots\dots\dots (4)$$

무차원온도는 출구온도가 축열조내 초기온도로 유출되면 1로 되고, 방열이 계속되어 입구온도가 같아지면 0이 된다. 또한 무차원시간은 축열조내부체적의 75%에 상당하는 물의 양만큼 통과되는데 필요한 시간이 1로 되며, 유량이 커질수록 무차원시간이 커지게 된다.

한편 축열과정에서 내부의 온도변화에 의해 축열량을 계산하기 위해서는 상변화과정 등에 대한 해석과 경계조건의 정밀적용을 동반한 수치해석과 같은 방법이 필요하게 되는데 본 연구에서와 같이 전기에너지에 의해 축열을 할 경우 축열량은 직선적으로 나타날 것이며, 방열의 경우에는 축열조내부의 초기온도로 나타내는 축열된 양에 대해 공급수온과 유량에 따른 방열량의 비율로 방열효율이 정의되는데 이는 무차원온도의 향으로 파악할 수도 있다.

## III. 실험장치 및 방법

실험장치는 크게 향온수공급부분과 축열조로 구성되며, 그림 1에 그 개략도를 나타내고 있다. 향온수공급을 위해서는 냉동장치의 응축기와 증

받기부를 이용하여 온도가 제어되는 물탱크 속에 공급수를 통과, 열교환시킴으로서 공급수의 온도가 균일하게 유지되도록 하였다.

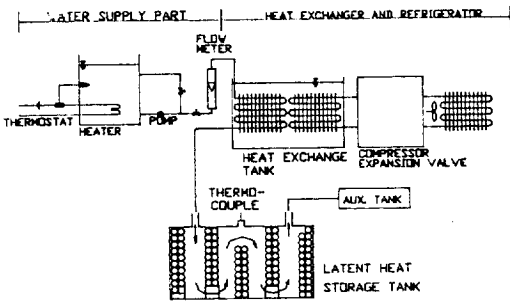


Fig. 1 Experimental equipment system

철제로 제작된 축열조에는 92개의 축열봉을 장착하고 그 주위에는 물을 채워 넣었으며, 하부에 5kW용량의 전기히터를 축열조의 하단부중앙에 1kW, 그 좌우에 각각 2kW씩을 설치하므로써 전기에너지의 공급량을 조절할 수 있도록 설치하여 축열시에 이용하였다. 축열봉은<sup>1)</sup> 직경 35mm, 길이 300mm의 구리관 속에 잠열축열재인 시약수준의 6수화화칼슘( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )을 약 321g씩 넣어 나사박음하여 봉입하였다.

그리고 장착방법은 공급수가 축열봉을 끌고루

거쳐 가므로써 전열면적이 커지도록 고려하여 그림에서 보는 바와 같이 배치하였다. 실험에 사용된 각종 장치 및 계측기들은 표1에 나타난 바와 같다.

축열시에는 공급되는 전기동력이 2, 3, 4 kW가 되도록 하여 실험을 하였으며, 축열에 의해 축열조중앙부의 온도가 42°C가 되었을 때 축열을 중단하고 방열유체로서의 물을 공급하여 방열과정을 수행하였다.

공급수의 온도는 13.5, 16.5, 21.5°C의 3수준으로 하였으며, 이때 原水의 온도와 외기온 등의 영향으로 그 변동은  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  정도로 나타났다. 이러한 공급온도의 각각에 대하여 유량을 각각 0.01, 0.02, 0.03 kg/s의 3수준으로 변화시켜 전부 9회의 방열실험을 수행하였다.

온도의 계측은 공급수의 입출구, 한 축열봉의 중앙부표면과 그 내부, 그리고 축열조의 상중하 3위치에 나누어 26점, 모두 30점을 10분간격으로 측정하였다.

#### IV. 결과 및 고찰

##### 1. 축열과정

축열과정에서 공급된 전기에너지의 크기별로

표1. 실험장치의 사양

구성요소	사	양
축열조	크기 : 400×400×700 철제수조, 전기히터 : 2kW×2+ 1kW 축열봉 : 92개, 잠열축열물질 - $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 29.6kg $C_{pp} = 0.41\text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ , $H_f = 48\text{kcal/kg}$ , $T_m = 28^\circ\text{C}$	
물공급펌프	PDB-40, 110/220V, 양정 4.5m, 소비전력 101W.	
열교환탱크	체적 : 200ℓ, 환튜브 : 연속평판환튜브형 방열기2개	
냉동기(열펌프)	용도 : 가열 및 냉각 겸용, 형식 : 압축식 압축기동력 : 1.5kW, 냉매 : Freon-22	
자동온도기록계	32Ch, Hybrid Temperature Recorder. CA Type	
유량계	플로우트식, RYUTAI KYGYO CO. LTD. JAPAN	
전력량계	110/220V, 60Hz, 500/1000 Rev/kWh, 태원/대한전선	

나타난 축열조내 온도변화특성을 시간의 함수로 나타내면 그림 2와 같다. 초기온도에 따라 다소 다르지만 가열 후 약 25분이 경과하면서부터 잠열축열효과가 나타나기 시작하여 약 25분 정도 지속되고 있다. 이 과정에서 공급동력이 커질수록 온도의 상승기울기가 커지는 당연한 결과를 확인하였고, 축열 후 방열특성을 알아보기 쉽도록 하기 위하여 중앙부온도가 42°C로 될 때까지 축열하였던 바 3 kW공급의 경우 약 90분이 지나면 이 온도에 도달하였다. 축열봉의 표면온도와 축열봉중앙부 잠열축열물질온도와와의 차이는 크지 않았고 시간이 갈수록 그 차이가 다소 증가하더라도 실험수준범위에서는 1°C를 넘지 않았으며, 이는 축열봉의 재료인 구리의 전열저항

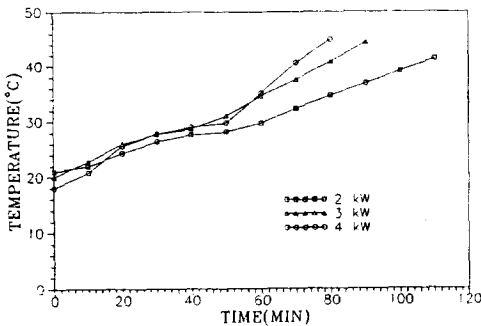


Fig. 2 Temperature history of center point of LTES tank as a function of time for three supplied power levels

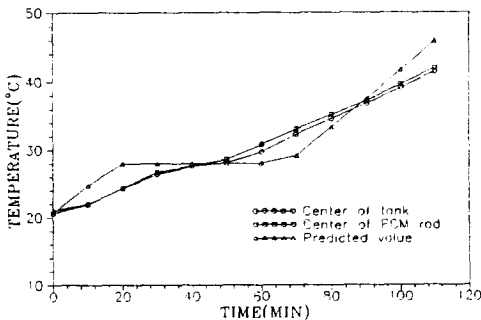


Fig. 3 Experimental and predicted temperature history during heat charging process (2 kW)

이 적고, 축열봉이 옆으로 장착되어 잠열축열물질의 용해과정에서의 유동공간이 커지는 등의 원인으로 판단된다. 한편 축열조내 전체에서의 최대온도차는 축열을 종료한 중앙부의 온도가 42°C로 될 때까지 공급동력에 따라 9~13°C의 차이를 나타내었는데 공급동력이 클수록 큰 온도편차를 나타내었다. 특히 3 kW와 4 kW의 최대 온도차가 비슷하게 나타났던 바 이는 4 kW의 경우 히터의 배치가 균일했기 때문으로 판단된다.

또한 그림 3에서와 같이 2kW동력공급시의 축열조중앙부와 축열봉중앙부잠열축열물질의 온도변화는 축열봉표면과 마찬가지로 비슷하게 변하는 것을 알 수 있었다. 그리고 공급되는 전기 에너지는 축열조내부의 열에너지로 변환되는데 축열조내부의 온도변화가 균일하게 변해간다고 하면, 변환된 열에너지에 의한 예상온도변화는 (2)식에 의해 구해지는데 이때는 그림에서와 같이 약 50분 동안의 잠열구간을 나타내게 된다. 이 이론적인 잠열온도구간에서의 전력공급량은 잠열축열물질의 상변화잠열량으로 변환되는데 이때의 잠열량은 약 1,421kcal가 된다. 그림에서 살펴보면 실제의 온도는 예상온도보다 잠열온도를 기준으로 다소 완만한 기울기를 가지는데 이것은 공급열량이 내부축열재와 물에 흡수되는 과정에서 내부의 온도차와 대류유동, 그리고 잠열축열재의 엔탈피-온도선도<sup>9)</sup>에 의한 잠열방출 특성에 따른 것으로 판단된다.

이러한 현상은 3 kW공급일 때도 비슷하지만 공급동력이 크므로 온도상승이 빠르게 나타났고, 이때 약간의 열손실이 있는 것을 알 수 있는데 이것은 시간경과에 따라 축열조내외의 온도차가 커지고 이에따라 외부손실이 늘어나고 특히 방열과정을 위해 설치해 놓은 전열매체의 입구 및 출구관내부의 온도가 고온인 것으로 볼 때 이 사이의 손실열량이 상당한 것으로 보인다.

## 2. 방열과정

다관형잠열축열장치의 방열과정에서 공급수의 온도를  $21.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 의 범위로 하여 공급하였을 때의 물의 출구온도변화가 그림 4에 나타나 있다. 유량이 커질수록 열전달계수의 영향으로 인해 출구온도의 하락은 급격하며, 유량이 0.03 kg/s일 때에는 방열시작 후 약 50분경과 뒤에 잠열량의 방출이 시작되고 있으며, 0.02kg/s 일 때는 100분, 0.01kg/s일 때는 약 140분이 경과한 후부터 잠열량이 방출되고 있다. 축열장치의 잠열량방출기간에는 잠열온도보다 약  $1 \sim 2^\circ\text{C}$  정도 낮은  $26 \sim 27^\circ\text{C}$  정도로 유지되고 있으며, 0.01kg/s일 때는 약 2.5시간 정도 명확한 잠열방출기간으로 나타나고 있다. 이때의 명확한 잠열방출기간 중의 방열유체에 의한 방열량은 (3)식에 의해 계산하면 약 500kcal로서 전체 잠열축열물질의 상변화잠열량에 비해 약 35%가 되며, 따라서 상변화의 정도는 이 시기의 전후에서도 상당히 일어나는 것을 알 수 있다. 한편 방열과정에서의 방열량은 동일유량하에서는 당연히 온도차에 의하여 달라지므로 그림에 나타난 바와 같은 경향으로 변하게 된다.

한편 유량을 0.01kg/s로 고정된 상태에서 공급수의 입구온도를 각각 13.5, 16.5,  $21.5^\circ\text{C}$ 로 했을 때의 출구온도는 그림5에서 보는 바와 같이 각각 80, 100, 120분 정도경과 후부터 잠열방출이 시작되어 방열유체의 공급온도에 따라 지속시간이 다르게 나타났으며, 특히, 방열유체의 공급온도가 잠열방출온도에 가까울수록 열교환부의 온도차가 적기 때문에 전열량이 적게 되므로서 명확한 잠열방출현상이 나타남을 알 수 있었다.

방열유체의 공급온도에 따른 영향을 보다 명확히 하기 위하여 공급유체의 온도를  $21.5^\circ\text{C}$ 로 하였을 때의 출구온도를 무차원온도로 나타내면 그림 6과 같은데 온도에 따라 다소 차이는 있으나 무차원온도 약 0.3부근에서 잠열현상이 나타나고 있으며, 초기온도강하과정은 거의 같은 경향을 띄며 곡선적으로 변하고 있다. 이 그림에서

살펴보면 방열유체의 유량이 다르더라도 유량을 무차원시간에 포함시켜 나타낸 무차원출구온도는 비슷한 경향으로 변해가는 것을 알 수 있는 바 그 예측식을 검토해 볼 필요가 있다.

이러한 잠열축열장치로부터의 유체출구온도를 예측하는 것은 유체의 유속이나 온도분포, 잠열량 등의 거동을 미시적으로 분석, 수치해석 등에 의해 해석할 수 있으나 이때는 연속방정식, 에너지평형방정식, 운동방정식과 상태방정식을 고려하여야 하고 경계조건을 정밀적용해야 하는 어려움이 따르게 되는데 이와는 달리 유체의 유입온도와 유량에 대한 출구온도를 파악하여 관계이론식을 얻어낼 수도 있다.

본 연구에서는 무차원화과정에서 온도에 있어서의 영향이 예견되는 축열조내부의 초기온도와 전열매체의 공급온도를 결합하여 무차원온도로 하였고, 또한 전열매체의 유량을 무차원시간에 결합시켰기 때문에 무차원출구온도를 분석검토할 수가 있다.

일반적으로 축열수조의 과도응답은<sup>16)</sup> 완전혼합수조의 경우  $\theta = 1 - \exp(-\tau)$ , 완전압출의 경우  $\theta = C1 \cdot (\tau - 1)$ 로 나타난다. 실제의 축열수조에서는 완전압출영역, 완전혼합영역, 死水영역이 혼재하고 있는 것으로 알려져 있는데<sup>15)</sup>, 특히 본 연구에서는 잠열축열체가 포함된 점을 고려하여 공급유체의 온도가  $21.5^\circ\text{C}$ 일 때의 무차원출구온도를 시간대별로 다음의 세 방정식으로 나타낼 수가 있었다.

$$\text{초기현열방출시기} : \theta = 1.1 \text{Exp}(-\tau/0.82),$$

$$\text{중기잠열방출시기} : \theta = -0.06\tau + 0.3,$$

$$\text{말기현열방출시기} : \theta = 0.8 \text{Exp}(-\tau/1.4)$$

이러한 예측방정식은 유량3수준의 실험값과 크기별로 각각 0.99, 0.94, 0.88의 결정계수를 나타내고 있다. 그런데 이러한 예측방정식은 공급유체의 온도가 잠열온도부근에 있을 때는 잘 일치하지만 공급유체의 온도가 낮아지게 되면 유량에 따라 곡선의 형태가 달라지게 되는데 유량을 0.01kg/s로 고정시키고 공급유체의 온도를 변

화시켰을 때의 무차원온도변화를 나타낸 그림 7을 살펴보면 그 진행시간대별로 비슷한 경향은 가지지만 하나의 방정식으로는 예측이 곤란하다는 것을 알 수 있다.

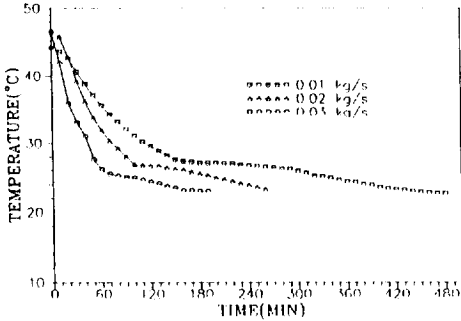


Fig. 4 Temperature history of the outlet water during heat discharging process for three levels of mass flow rate for inlet water temperature at 21.5°C

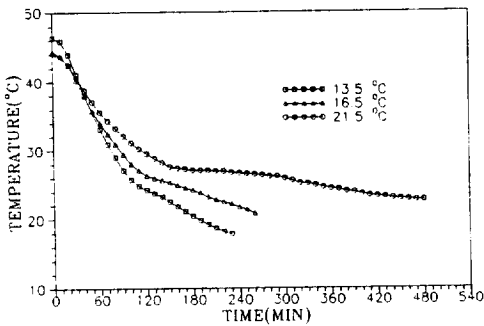


Fig. 5 Temperature history of the outlet water during heat discharging process for three levels of inlet water temperature on the case of mass flow rate, 0.01kg/s

## V. 요약 및 결론

다관형잠열축열장치의 축열 및 방열과정에서의 열특성을 분석할 목적으로 실험을 수행하여 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 축열과정에서 공급동력이 3kW의 경우 약 90분이 지나면 축열조중앙부의 온도가 42°C에 도달하였으며, 가열 중 잠열온도부근에서의 온

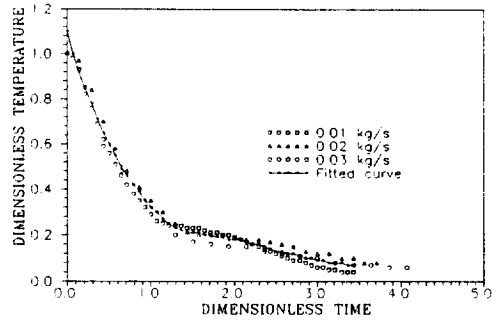


Fig. 6 Experimental and fitted curve of dimensionless temperature of the outlet water temperature at 21.5°C

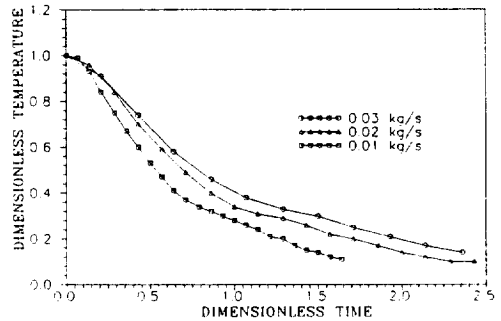


Fig. 7 Dimensionless temperature of the outlet water for three levels of mass flow rate on the case of inlet water temperature at 13.5°C

도상승지연시간은 전체적으로 약 25분 정도로 나타났다. 축열조중앙의 수온과 축열조내부의 잠열축열재의 온도차이는 실험기간 중 1°C 이하로 나타났다. 그리고 축열용 공급에너지가 완전히 균일한 온도의 내부에너지로 변환되었을 경우의 이론예측결과와 실험의 결과는 잠열구간전 후에서 시간지연이 나타났던 바 이는 내부의 유동과 잠열축열물질의 온도-엔탈피변화특성때문으로 판단되었다.

2. 방열과정에서 방열유체의 출구온도는 공급유체의 입구온도가 높을수록, 유량의 크기가 작을수록 잠열온도구간이 명확하게 나타났으며, 0.01kg/s, 21.5°C일 때는 약 2.5시간 정도 잠열온도

구간범위에 있었다.

4. 방열유체의 출구온도의 일반성을 알아보기 위해 무차원시간에 유체유량을 결합하고, 무차원온도에 축열조내부의 방열초기온도와 공급유체의 입구온도를 결합하여 분석하였던 바 공급온도 21.5°C의 경우 유량에 관계없이 방열시간대별로  $\theta = 1.1 \text{Exp}(-\tau/0.82)$ ,  $\theta = -0.06\tau + 0.3$ ,  $\theta = 0.8 \text{Exp}(-\tau/1.4)$ 의 방정식을 결합한 형태로 나타낼 수 있었으며, 이때 결정계수는 0.88이상으로 나타났다. 그러나 공급유체의 온도가 낮아지면 그 상관성은 줄어들어 동일한 식으로 나타내기 어려웠다.

**Nomenclature**

- Cpw : 물의 비열(kcal/kg · °C)
- Cpp : 잠열재의 평균비열(kcal/kg · °C)
- Cpt : 축열조내 축열물질(잠열축열물질과 물)의 물질의 평균비열(kcal/kg · °C)
- Hf : 축열재의 잠열량(kcal/kg · °C)
- i : 상변화비율(0 ≤ i ≤ 1)
- Mwin : 축열조유입수량(kg/s)
- Mp : 축열조내 잠열축열물질량(kg)
- Mt : 축열조내 축열물질(잠열축열물질과 물)의 물질의 총량(kg)
- Mtank : 축열조내부체적의 75%에 상당하는水量(kg)
- Mw : 축열조내水量(kg)
- P : 축열원으로서의 동력(kW)
- Qc, Qh : 방열량, 축열량
- t<sub>i</sub> : 시간(hour), 무차원시간
- t : 시간의 변화량(hours)
- T<sub>i</sub> : 온도(°C), 무차원시간
- Ti : 축열조내 방열초기온도(°C)
- Tm : 잠열축열물질의 상변화온도(°C)
- Twin : 축열장치로의 유입수온(°C)
- Twout : 축열장치로부터의 유출수온(°C)

**참 고 문 헌**

1. 김영복, 송현갑. 1987. Calcium Chloride Hexahydrate의 상변화잠열을 이용한 태양열저장. 농촌열에너지연구보고논문집. 3(1). PP. 57-80
2. 김영복, 송현갑. 1988. 이중관형잠열축열장치의 전열특성에 대한 이론해석. 농촌열에너지연구보고논문집. 4(1). PP.1-19
3. 김영복, 송현갑. 1989. 이중관형잠열축열장치의 전열특성에 대한 실험적 분석. 한국농업기계학회지. 14(1). PP.24-32.
4. 김영복, 주은선, 윤여두, 나우정. 1991. 태양열저장을 위한 평판형잠열축열 장치의 성능 분석. 한국농업기계학회지 16(3)
5. 김영복. 1989. 열에너지저장을 위한 잠열축열재(CaCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O)의 열특성연구. 박사학위논문
6. A.Abhat. 1983. Low temperature latent heat thermal energy storage : heat storage materials. Solar energy. 30(4) : 313-332
7. Shamsunda,N. and R.Srinivasan. 1980. Effectiveness-NTU charts for heat recovery from latent heat storage units. J. of solar energy engineering. 102 : 263-271
8. Kanari,K. et al. 1986. Heat transfer analysis with two dimensional model on latent thermal energy storage unit using HDPE rods. J. of JSME. Vol.12. No.6. PP.36043
9. Kozo Katayama, et al. 1981. Heat transfer characteristics of the latent heat thermal energy storage capsule. Solar Energy. Vol.27. PP. 91-97.
10. Green, T.F., VLiet,G.C., 1981. Trans. ASME. J. Solar Energy. 103(3).275
11. 金成克彦, 神木正行, 阿部宣之, 高橋義夫, 坂本龍二, 小澤丈夫. 1986. 高密度ポリエチレン

- 潛熱蓄熱の二次元 傳熱解析, Journal of JSES 12(6), pp.36-43
12. 遠藤 外 2. 1982. 第16回 空氣調和・冷凍聯合講演論文集. 29.
  13. 廣瀬宏一, 齊藤武雄. 1985. 球カプセル潛熱蓄熱ユニットの性能シミュレーション. 日本機械學會論文集(B) 51(466) : 1867-1873
  14. 伊藤定祐. 1984. 潛熱蓄熱器の熱特性. 日本機械學會論文集 50(456). pp.1912-1919
  15. 田中俊六. 1989. 태양열냉난방시스템. 세진사. pp.109-113
  16. 일본태양에너지학회편. 1983. 태양에너지의 기초와 응용. 세진사. pp. 121-133