

## 포접화합물의 열물성에 미치는 첨가제의 효과 (II)

— TMA 물계 포접화합물에 Ethylene Glycol을 첨가한 경우 —

정 낙 규<sup>†</sup>, 김 진 흥<sup>\*</sup>, 김 창 오<sup>\*\*</sup>, 김 광 일<sup>\*\*</sup>

조선대학교 공과대학 기계정보공학과, <sup>\*</sup>조선대학교 공과대학 기계공학과, <sup>\*\*</sup>조선대학교 대학원 기계설계공학과

## The Effects of Additives on the Thermal Properties of a Clathrate Compound (II)

— The Case of Ethylene Glycol —

Nak Kyu Chung<sup>†</sup>, Jin Heung Kim<sup>\*</sup>, Chang Oh Kim<sup>\*\*</sup>, Kwang Il Kim<sup>\*\*</sup>

Department of Mechanical Information Engineering, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

<sup>\*</sup>Department of Mechanical Engineering, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

<sup>\*\*</sup>Department of Mechanical Design Engineering, Graduate School, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

(Received October 10, 2003; revision received March 23, 2004)

**ABSTRACT:** The objective of this study is to investigate the effect of supercooling repression on the TMA clathrate by adding ethylene glycol. For this purpose, phase change temperature, supercooling, specific heat, latent heat and rate of volume change were measured and evaluated experimentally for heat source temperatures of  $-6^{\circ}\text{C}$ ,  $-7^{\circ}\text{C}$ ,  $-8^{\circ}\text{C}$ . The results show that supercooling was decreased. Thus the experimental results are expected to be used for the increase of coefficient of performance of low temperature thermal storage system in the building.

**Key words:** Clathrate(포접화합물), Thermal storage material(축열물질), Phase change(상변화), Supercooling(과냉각)

### 기 호 설 명

$c_{pm}$  : 축열물질의 정압비열 [kJ/kg $^{\circ}\text{C}$ ]

$c_{pw}$  : 증류수의 정압비열 [kJ/kg $^{\circ}\text{C}$ ]

$h_m$  : 잠열량 [kg/kcal]

$m_b$  : 브라인 질량 [kg]

$m_B$  : Pyrex Bottle의 질량 [kg]

$m_m$  : 저온축열물질의 질량 [kg]

$m_w$  : 증류수의 질량 [kg]

$\dot{Q}_w$  : 브라인이 단위시간당 흡수한 열량 [kcal]

$t_P$  : 상변화온도 유지시간 [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_p$  : 상변화온도 [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_s$  : 과냉각 최저온도 [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\Delta T$  : 과냉도 [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\Delta T_b$  : 시간  $t_P$  동안 브라인의 온도변화 [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\Delta T_B$  : 시간  $t_P$  동안 Pyrex Bottle의 온도변화 [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\Delta t_m$  :  $T_1$ 에서  $T_2$ 까지 축열물질 냉각소요시간 [s]

$\Delta t_w$  :  $T_1$ 에서  $T_2$ 까지 증류수 냉각소요시간 [s]

$W_B$  : Bottle의 몰당량 [kJ/kg $^{\circ}\text{C}$ ]

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-62-230-7175; fax: +82-62-230-7175

E-mail address: nkchung@chosun.ac.kr

## 하첨자

- b* : 브라인  
*B* : Pyrex Bottle  
*m* : 저온축열물질  
*P* : Phase change  
*w* : 증류수

## 1. 서 론

국민소득의 증가와 더불어 여름철 냉방기 사용이 급증하면서 하절기 전력의 첨두부하가 발생하고 있다. 이에 대한 대책으로 친환경적이며 심야 전력을 이용한 저온축열시스템의 필요성이 증가하고 있다.

저온잠열 축열물질로서 포접화합물(clathrate)은 순수한 얼음보다 높은 온도에서 수화물 결정을 생성하며, 상분리현상 없이 비교적 큰 잠열을 가지고 있어 저온축열물질로서 적용이 기대되고 있다.<sup>(1,2)</sup> 그러나 상변화온도에서 상변화하여 포접화합물을 생성하지 못하고 과냉각상태에서 액체로 남아 있는 과냉각현상을 나타낸다. 이러한 저온축열시스템의 효율에 영향을 미치는 과냉각현상을 억제하기 위해서는 저온축열물질에 첨가제를 첨가하여야 한다. 따라서 포접화합물의 한 종류인 TMA 30 wt%-물계 포접화합물과 이에 가용성인 첨가제를 질량농도별로 첨가하여 예비실험을 거쳐 활용 가능성이 높은 Ethylene Glycol을 첨가제로 선택하여 본 연구에 이용하였다.

본 연구에서 사용된 트리메틸아민(Tri-Methyl-Amine, TMA( $\text{CH}_3$ )<sub>3</sub>N)에 관한 연구는 Kim et al.이 TMA 30 wt%-물계 포접화합물의 농도와 냉열원의 온도 및 첨가제의 농도에 따른 열물성에 대한 실험을 통해 건물공조용 저온축열시스템의 저온축열물질로서의 적용 가능성에 대한 실험적 연구를 수행하였다.<sup>(3-5)</sup>

본 연구에서는 TMA 30 wt%-물계 포접화합물과 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 첨가제인 Ethylene Glycol을 질량농도별로 첨가하여 과냉도의 개선효과와 상변화온도와 비열, 잠열량, 체적변화율 등의 열물성에 대하여 실험적으로 비교·분석하여 저온축열물질로서의 타당성을 검토하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

본 연구에서는 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol을 첨가하여 상변화온도와 과냉도 및 비열을 측정하기 위하여 Fig. 1과 같은 실험장치를 사용하였으며, 저온실험조, 저온항온조, 순환펌프, 계측장치로 구성하였다. 저온실험조는 두께 10 mm인 아크릴제 실험조(720×520×390 mm)를 제작하여 단열을 한 후 외부의 영향을 최소화하였으며, 실험조 내의 온도가 일정하게 유지되는지를 확인하기 위하여  $\phi$ 0.25 mm K-type 열전대를 설치하였다. 그리고 저온실험조는 왕복압축식 냉동기(10 R/T), 저온항온조( $\phi$ 820×H 1000 mm), 원심식 순환펌프(90 L/min)와 연결하여 저온축열물질의 냉각과정 동안 실험조 내의 냉열원온도가 일정하게 유지되도록 시스템을 구성·제작하였다.

저온축열물질이 충전된 용량 50 mL의 Pyrex Bottle은  $\phi$ 0.25 mm K-type 열전대를 설치하여 5개를 아크릴판에 등간격으로 고정되도록 구성하여 저온실험조 내에서 실험이 안정적으로 이루어질 수 있게 하였다. 그리고 저온축열물질의 냉각과정 동안의 실험데이터는 Data Acquisition System으로 계측하여 이와 연결된 PC에 데이터를 기록하고, 모니터에서 관찰할 수 있도록 구성하였다.

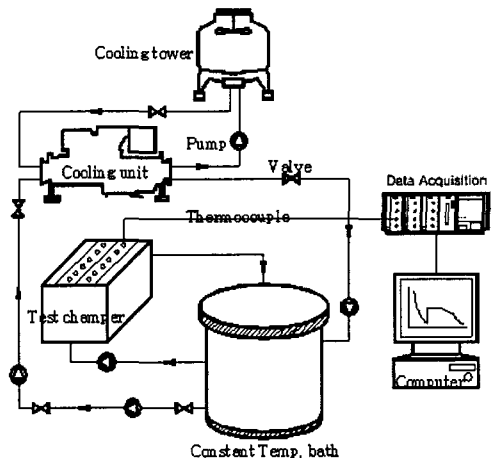


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

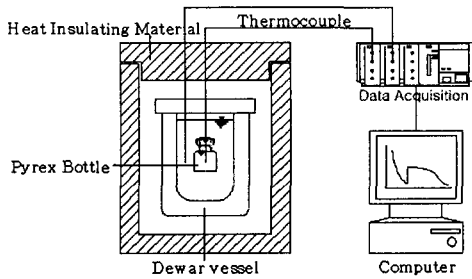


Fig. 2 Schematic diagram of latent heat test.

Fig. 2는 저온축열물질의 잠열측정장치로서 단열된 듀어병과 Data Acquisition System 및 PC로 구성하였다. 그리고 체적변화율은 용량 20 mL 삼각플라스크와 0.1 mL 피펫을 이용하여 측정하였다.

2.2 실험방법

저온축열물질의 상변화온도, 과냉도, 비열을 측정하기 위하여 Fig. 1의 실험장치를 사용하였다. 증류수와 TMA 30 wt%-물계 포접화합물, TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol 0.08, 0.1, 0.2 wt%를 각각 첨가한 저온축열물질을 Pyrex Bottle 세트에 50 g씩 충전하여 20℃로 유지시킨 후, 냉열원온도 -6, -7, -8℃가 일정하게 유지된 저온실험조에서 물질의 냉각과정을 Data Acquisition System과 PC를 이용하여 냉각곡선과 데이터를 취득하였다. 저온항온조는 브라인을 충분히 충전한 후, 단열된 저온실험조와 순환펌프를 연결하여 실험과정 동안 냉열원온도를 일정하게 유지하였다. 이와 같이 각 냉열원온도에서 취득한 실험데이터와 냉각곡선은 상변화온도와 과냉도 및 비열을 분석하여 그 값의 평균으로 나타내었다.

잠열량은 Fig. 2의 실험장치를 사용하였으며, 진공 원통인 듀어병에 -8℃의 브라인 1,550 g을 충전하고, 저온축열물질 50 g이 충전된 Pyrex Bottle을 듀어병의 중앙에 위치시켜 시간경과에 따라 열을 흡수하는 브라인의 온도변화와 열을 방출하는 저온축열물질의 온도변화를 측정·분석하여 잠열을 구하였다.

체적변화율은 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol을 각 질량농도별로 첨가하여 열전대가 설치된 삼각플라스크에 20 mL 충전한

후 0.1 mL 피펫을 이용하여 실험용 저온잠열 축열물질의 온도를 20℃로 유지하였을 때의 체적과 냉열원온도 -8℃에서 상변화과정을 거쳐 냉열원온도까지 냉각한 후 체적을 측정하여 그 비로 체적변화율을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 상변화온도

상변화온도는 각 냉열원온도에서 냉각과정 동안 동결이 개시되는 온도로 정의하였다. Figs. 3, 4, 5는 TMA 30 wt%-물계 포접화합물과 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol을 0.08, 0.1, 0.2 wt%를 첨가하여 Pyrex Bottle에 50 g씩 충전한 후 냉열원온도 -6, -7, -8℃에서 냉각과정 동안의 냉각곡선이다. 그리고 Fig. 6은 각 냉열원온도에서 측정된 상변화온도의 평균적인 특성을 나타낸 그래프로서 평균 데이터에 대한 오차신뢰구간은 95%이다.

Fig. 3은 냉열원온도 -6℃에서의 냉각과정을 나타낸 그래프로서 각 저온축열물질들은 냉각 초기 온도 20℃부터 냉각이 시작되어 과냉각상태를 유지한 후 상변화온도에서 동결이 시작되었다. TMA 30 wt%-물계 포접화합물의 경우 상변화온도와 냉각 초기온도 20℃부터 상변화온도까지의 상변화 소요시간은 5.3±0.051℃와 평균 1시간을 나타내었다. TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol을 0.08, 0.1, 0.2 wt%를 각각 첨가한 경우, 상변화온도와 상변화소요시간은 5.5±0.185, 5.3±0.073, 5.3±0.085℃와 1시간 26분, 30분, 36분을 나타내었다.

냉열원온도 -6℃에서 냉각한 저온축열물질의

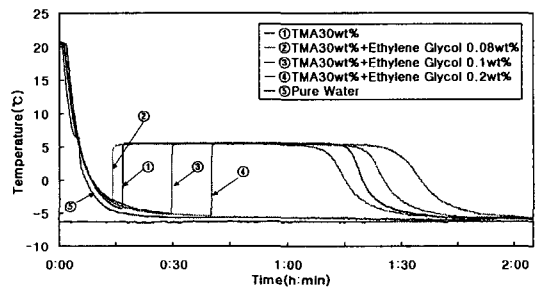


Fig. 3 Cooling curves in heat source of -6℃.

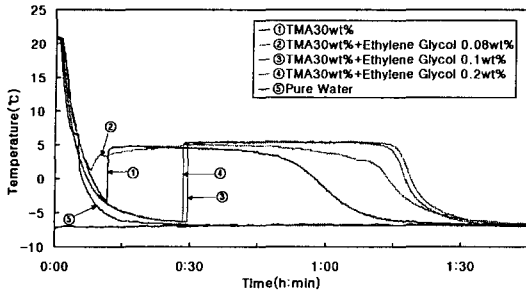


Fig. 4 Cooling curves in heat source of  $-7^{\circ}\text{C}$ .

상변화온도는 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol 0.08 wt%를 첨가하였을 때, 평균  $5.5^{\circ}\text{C}$ 로 가장 높았으며, 상변화소요시간이 약 30분이 단축되었다.

Fig. 4는 냉열원온도  $-7^{\circ}\text{C}$ 에서의 냉각과정을 나타낸 그래프로써 냉열원온도  $-6^{\circ}\text{C}$ 에서와 같이 과냉각상태를 유지한 후 상변화온도에서 동결이 시작되었다. TMA 30 wt%-물계 포접화합물의 경우 상변화온도와 상변화소요시간은  $5.1 \pm 0.036^{\circ}\text{C}$ 와 32분을 나타내었다. TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol을 0.08, 0.1, 0.2wt%를 각각 첨가한 경우, 상변화온도와 상변화소요시간은  $4.4 \pm 0.107$ ,  $4.8 \pm 0.091$ ,  $4.9 \pm 0.092^{\circ}\text{C}$ 와 31분, 8분, 26분을 나타내었다.

냉열원온도  $-7^{\circ}\text{C}$ 에서 냉각한 저온축열물질의 상변화온도는 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol 0.08, 0.1, 0.2 wt%를 각각 첨가한 경우에 TMA 30 wt%-물계 포접화합물보다 평균  $0.2 \sim 0.7^{\circ}\text{C}$  낮게 나타났다. 그리고 Ethylene Glycol 0.1 wt%를 첨가한 경우, TMA 30 wt%-물계 포접화합물보다 상변화소요시간이 약 20분이 단축되었다.

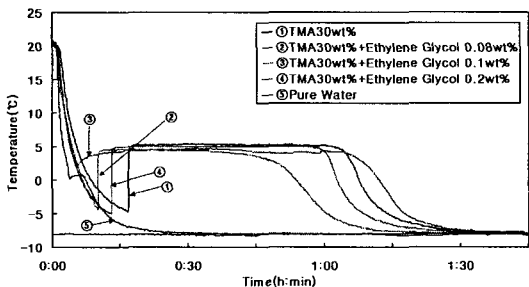


Fig. 5 Cooling curves in heat source of  $-8^{\circ}\text{C}$ .

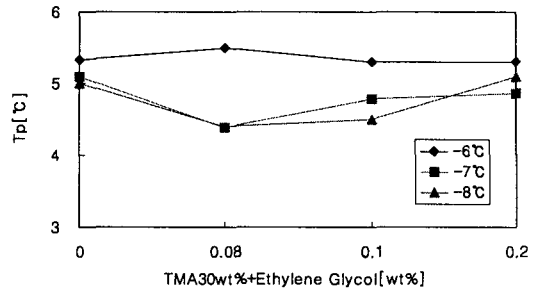


Fig. 6 Phase change temperature in variant heat source.

Fig. 5는 냉열원온도  $-8^{\circ}\text{C}$ 에서 냉각과정 동안의 그래프로써 냉열원온도  $-6^{\circ}\text{C}$ 와  $-7^{\circ}\text{C}$ 에서 같이 과냉각상태를 유지한 후 상변화온도에서 동결이 시작되었다. TMA 30 wt%-물계 포접화합물의 경우 상변화온도와 상변화소요시간은  $5.0 \pm 0.052^{\circ}\text{C}$ 와 평균 20분을 나타내었으며, TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol을 0.08, 0.1, 0.2 wt%를 각각 첨가한 경우 상변화온도와 상변화소요시간은  $4.4 \pm 0.148$ ,  $4.5 \pm 0.119$ ,  $5.1 \pm 0.113^{\circ}\text{C}$ 와 36분, 10분, 17분을 나타내었다.

냉열원온도  $-8^{\circ}\text{C}$ 에서 냉각한 저온축열물질의 상변화온도는 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol 0.08, 0.1 wt%를 각각 첨가한 경우, TMA 30 wt%-물계 포접화합물보다 평균  $0.5 \sim 0.6^{\circ}\text{C}$  낮게 나타났으며, 상변화소요시간은 Ethylene Glycol 0.1, 0.2 wt%를 첨가한 경우 평균 3~10분이 단축되었다.

Fig. 6에서와 같이 Ethylene Glycol의 질량농도에 따라 다른 상변화온도를 나타내었으며, 냉열원온도가 낮을수록 상변화온도가 저하하는 경향을 나타내었다. 그리고 냉열원온도  $-6^{\circ}\text{C}$ 에서 냉각한 경우의 상변화온도는 첨가제의 질량농도별로 차이를 보이지 않았으며, 냉열원온도  $-7^{\circ}\text{C}$ 와  $-8^{\circ}\text{C}$ 에서 냉각한 경우에는 첨가제의 질량농도가 높을수록 상변화온도가 증가하는 경향을 보였다.

### 3.2 과냉도

과냉도는 상변화온도( $T_p$ )와 과냉각 최저온도( $T_s$ )와의 차로써 식(1)과 같이 정의할 수 있다. Fig. 7은 TMA 30 wt%-물계 포접화합물과 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 첨가제인 Ethylene Glycol을 질량농도 0.08, 0.1, 0.2 wt%를 각각 첨

가하여 냉열원온도 -6, -7, -8°C에서 냉각하여 측정된 과냉도를 평균적으로 나타낸 그래프이다. 평균 데이터에 대한 오차신뢰구간은 95%이다.

$$\Delta T = T_p - T_s \quad (1)$$

냉열원온도 -6°C에서 냉각하였을 때 TMA 30 wt%-물계 포접화합물의 과냉도는 10.9±0.344°C이었으며, Ethylene Glycol을 0.08, 0.2 wt% 첨가한 경우, 11.2±1.253, 10.7±0.580°C를 나타내었다. TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol 0.1 wt%를 첨가한 경우에는 8.9±0.498°C의 과냉도로서 최저 과냉도를 나타내었으며, 첨가제를 첨가하지 않은 경우보다 약 2°C의 과냉각 억제효과를 나타내었다.

냉열원온도 -7°C에서 냉각하였을 때 첨가제를 첨가하지 않은 경우의 과냉도는 11.7±0.298°C이었으며, Ethylene Glycol을 0.08, 0.2 wt% 첨가한 경우 9.7±0.901, 11.6±0.705°C를 나타내었다. TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol 0.1 wt%를 첨가한 경우의 과냉도는 4.2±0.751°C로서 첨가제를 첨가하지 않은 경우보다 약 7.5°C의 과냉각 억제효과를 나타내었다.

냉열원온도 -8°C에서 냉각하였을 때 첨가제를 첨가하지 않은 경우의 과냉도는 10.3±0.384°C이었으며, Ethylene Glycol을 0.08, 0.2 wt% 첨가한 경우 8.7±1.105, 8.9±0.842°C를 나타내었다. TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol 0.1 wt%를 첨가한 경우의 과냉도는 5.4±0.857°C로서 첨가제를 첨가하지 않은 경우보다 약 4.9°C의 과냉각 억제효과를 나타내었다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 Ethylene Glycol 0.1 wt%를 첨가한 경우 TMA 30 wt%-물계 포접화합물의 과냉각 억제효과가 가장 크게 나타났다.

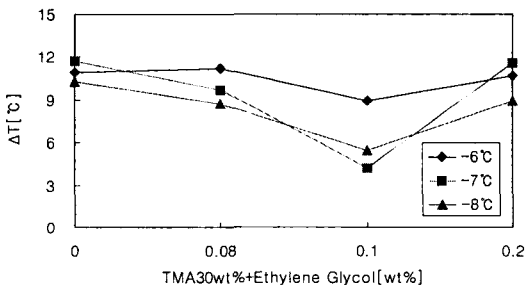


Fig. 7 Supercooling in variant heat source.

이는 Ethylene Glycol 0.1 wt%을 첨가한 경우에 TMA 30 wt%-물계 포접화합물이 냉각과정에서 물질 내의 입자들이 고체 표면에 형성된 빙핵 수분자(cluster)의 활성화를 증가시켜 상변화소요 시간이 단축되고 과냉각 최저온도가 높아져 과냉도가 감소하였다고 사료된다. 그리고 냉열원온도가 낮을수록 과냉도가 감소하는 것은 축열물질과 냉열원과의 온도차의 증가로 열전달률이 커져 상변화소요시간이 단축되기 때문이라 사료된다. 또한 첨가에 의한 과냉각 억제효과를 알아보기 위하여 일반 선형모형으로 분산분석하였으며, 유의수준은 5%이고, 검정결과 냉열원온도 -6, -7, -8°C의 조건에서  $P < 0.05$ 를 나타내었다. 따라서 Ethylene Glycol에 의한 TMA 30 wt%-물계 포접화합물의 과냉각 억제효과가 있다고 판단된다.

### 3.3 비열

비열은 Pyrex Bottle을 20°C로 일정하게 유지시킨 후 냉열원온도 -6, -7, -8°C에서 냉각시켜 취득한 냉각곡선 Figs. 3, 4, 5로부터 증류수와 저온축열물질의 15°C에서 10°C까지의 온도변화 동안의 시간을 조사하여 식(2)에 의하여 비열을 구하였다. 이 비열을 평균하여 얻은 값을 각 질량농도별로 Fig. 8로 나타내었으며, 평균 데이터에 대한 오차신뢰구간은 95%이다.

$$c_{p_m} = \frac{\{m_w c_{p_w} \Delta t_m + W_B (\Delta t_m - \Delta t_w)\}}{m_m \Delta t_w} \quad (2)$$

냉열원온도 -6°C에서 냉각시킨 TMA 30 wt%-물계 포접화합물의 비열은 4.410±0.043 kJ/kg°C이었으며, Ethylene Glycol을 0.08, 0.1, 0.2 wt% 첨가한 경우의 비열은 각각 4.360±0.137, 4.382±

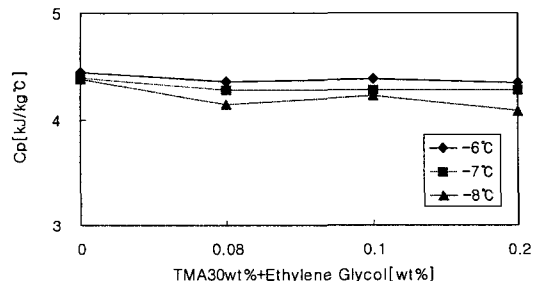


Fig. 8 Specific heat in variant heat source.

0.087,  $4.348 \pm 0.103$  kJ/kg $^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 그리고 냉열원온도  $-7^{\circ}\text{C}$ 에서 냉각시킨 TMA 30 wt%-물계 포접화합물의 비열은  $4.391 \pm 0.030$  kJ/kg $^{\circ}\text{C}$ 이었으며, Ethylene Glycol을 0.08, 0.1, 0.2 wt%를 첨가한 경우의 비열은 각각  $4.278 \pm 0.094$ ,  $4.281 \pm 0.07$ ,  $4.276 \pm 0.074$  kJ/kg $^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 또한 냉열원온도  $-8^{\circ}\text{C}$ 에서 냉각시킨 TMA 30 wt%-물계 포접화합물의 비열은  $4.386 \pm 0.058$  kJ/kg $^{\circ}\text{C}$ 이었으며, Ethylene Glycol을 0.08, 0.1, 0.2 wt% 첨가한 경우의 비열은 각각  $4.138 \pm 0.178$ ,  $4.226 \pm 0.144$ ,  $4.085 \pm 0.150$  kJ/kg $^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다.

이와 같이 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol을 첨가하여 냉열원온도  $-6$ ,  $-7$ ,  $-8^{\circ}\text{C}$ 에서 냉각한 경우에 비열이 감소하는 경향을 보였다.

### 3.4 잠 열

저온잠열 축열물질의 잠열량은 액체에서 고체로 상이 변화할 때, 온도변화 없이 방출한 열량이다. 저온잠열 축열물질의 잠열량을 측정하기 위한 열량계를 제작하여, TMA 30 wt%-물계 포접화합물과 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol 0.08, 0.1, 0.2 wt%를 각각 첨가하여 Pyrex Bottle에 50 g씩 충전하고,  $20^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지시킨 후,  $-8^{\circ}\text{C}$ 의 브라인이 채워진 열량계에서 저온잠열 축열물질이 상변화하는 동안 열량계 내에 충전된 브라인의 현열변화와의 관계로부터 식(3)에 의하여 잠열량을 구하였다.

$$h_m = \frac{m_b C_{pb} \Delta T_b - (\dot{Q}_w t_p + m_B C_{pB} \Delta T_B)}{m_m} \quad (3)$$

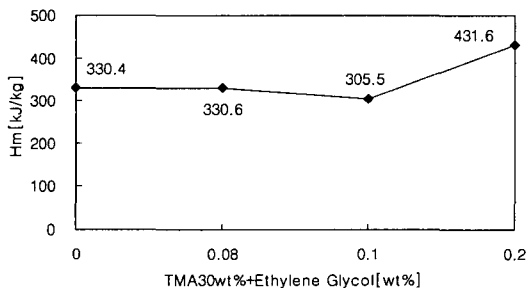


Fig. 9 Latent heat in heat source of  $-8^{\circ}\text{C}$ .

잠열량은 첨가제의 질량농도별로 측정하여 Fig. 9에 표시하였으며, 데이터에 대한 오차신뢰구간은 95%이다.

TMA 30 wt%-물계 포접화합물의 잠열량은 330.4 kJ/kg이었으며, Ethylene Glycol을 0.08, 0.1 wt% 첨가하였을 경우에는 각각 330.6, 305.5 kJ/kg을 나타내었다. 그리고 Ethylene Glycol을 0.2 wt% 첨가한 경우의 잠열량은 431.6 kJ/kg로 최대를 나타내었으며, 이는 첨가제를 첨가하지 않은 경우보다는 약 101 kJ/kg 높게 나타났다.

이와 같이 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol을 첨가한 경우, 수소결합에 의해 포접되는 특성을 갖는 TMA-물계 포접화합물과 첨가제와의 상호작용에 의해 반응엔탈피가 변하여 잠열량이 증가한 것으로 사료된다.

### 3.5 체적변화율

저온잠열 축열물질의 체적변화율은 저온잠열 축열조의 설계를 위해서는 중요한 요소이다. 본 연구에서의 체적변화율은 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol을 0.08, 0.1, 0.2 wt%를 첨가하여 각각 용량 20 mL 삼각 플라스크에 충전한 후,  $20^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지시켰을 때의 체적과 냉열원온도  $-8^{\circ}\text{C}$ 에서 포접화합물을 생성시킨 후 충분히 냉열원의 온도까지 냉각시킨 후의 체적을 측정하여 이때의 비를 체적변화율로 정의하였다. 이와 같이 측정된 체적변화율은 Ethylene Glycol의 질량농도별로 Fig. 10에 표시하였으며, 평균 데이터에 대한 오차신뢰구간은 95%이다.

TMA 30 wt%-물계 포접화합물의 체적변화율은 1.4%로 체적이 감소하였으며, Ethylene Glycol을 0.08 wt% 첨가한 경우에는 체적이 3.13% 감소하

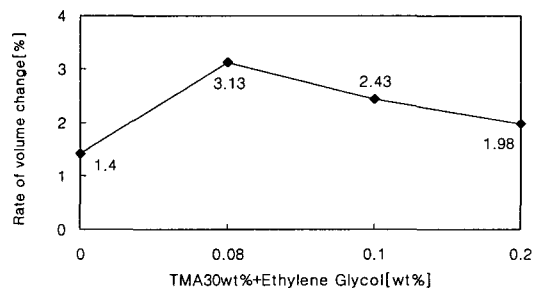


Fig. 10 Rate of volume change in heat source  $-8^{\circ}\text{C}$ .

여 최대 체적변화율을 나타내었다. 그리고 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethylene Glycol을 0.1, 0.2 wt% 첨가하였을 경우에는 각각 2.43%, 1.98% 감소하였다. 이와 같이 Ethylene Glycol을 첨가한 경우에 TMA 30 wt%-물계 포접화합물의 체적감소율이 증가하였으며, Ethylene Glycol의 질량농도가 높을수록 체적감소율이 작아지는 경향을 보였다. 냉각과정 동안 상변화 후 체적이 감소하는 것은 TMA 30 wt%-물계 포접화합물이 상변화온도에서 물분자가 수소결합의 공동(cage)을 형성하고 이 공동 안으로 TMA 기체분자가 포위 또는 포접되기 때문에 포접된 기체분자만큼의 체적이 감소한 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 냉열원온도 -6, -7, -8℃에서 TMA 30 wt%-물계 포접화합물과 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 첨가제인 Ethylene Glycol 0.08, 0.1, 0.2 wt%을 첨가하여 냉각한 경우의 과냉도의 개선효과와 상변화온도, 비열, 잠열량, 체적변화율 등의 열물성에 대한 비교·분석를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 상변화온도는 냉열원온도 -6℃에서 냉각한 경우 첨가제의 질량농도에 따른 변화가 거의 없었으며, 냉열원온도 -7℃와 -8℃에서 Ethylene Glycol 0.08 wt%을 첨가하여 냉각한 경우에는 약 0.7℃ 정도 낮아졌다.

(2) 과냉도는 Ethylene Glycol 0.1 wt%을 첨가하여 각 냉열원온도에서 냉각한 경우에 평균 8.9, 4.2, 5.4℃로서 약 2~8℃의 최대 과냉각 억제효과를 나타내었다.

(3) 비열은 Ethylene Glycol을 첨가한 경우에 감소하는 경향을 보였다.

(4) 잠열량은 Ethylene Glycol 0.2 wt%을 첨가하였을 때 431.6 kJ/kg으로서 최대 잠열량을 나타내었다.

(5) 체적변화율은 clathrate를 생성한 후 체적이 감소하였으며, Ethylene Glycol 0.08 wt%를 첨가하였을 때 약 3.1%로서 최대 체적감소율을 나타내었다.

이와 같은 결과로부터 TMA 30 wt%-물계 포

접화합물에 Ethylene Glycol을 첨가함으로써 과냉도가 개선되어 냉동기 가동시간의 단축과 성적계수의 개선이 기대된다. 그리고 본 연구는 저온축열물질에 대한 연구와 건물공조용 축냉시스템의 저온축열물질로서의 적용에 대한 참고자료가 될 것으로 기대된다.

#### 후 기

본 연구는 2001년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Yun, J.H., Yun, C.H. and Yoo, J.I., 1993, Development of clathrate cool storage system, Report of Ministry of Commerce, Industry and Energy.
2. Chung, I.S., 1994, An experimental study on the performance of cool storage system using R141b clathrate, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 6, pp. 354-364.
3. Kim, J.H., Chung, N.K. and Han, Y.O., 2000, A study on cooling characteristics of clathrate compound for cold storage applications, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 8, pp. 725-734.
4. Kim, J.H., Chung, N.K. and Go, G.O., 2001, A basic study on thermal properties of TMA clathrate with additives, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 1097-1105.
5. Kim, J.H., Chung, N.K., Kim, S.H. and Kim, C.O., 2002, The study on characteristics of TMA clathrate with ethanol to cooling temperature, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 8, pp. 634-640.