

## 포접화합물의 열물성에 미치는 첨가제의 효과 ( I )

— TMA 물계 포접화합물에 Ethanol을 첨가한 경우 —

김진홍<sup>†</sup>, 정낙규<sup>\*</sup>, 김석현<sup>\*\*</sup>, 김창오<sup>\*\*\*</sup>, 강승현<sup>\*\*\*</sup>

조선대학교 기계공학과, <sup>\*</sup>조선대학교 기계정보공학과,

<sup>\*\*</sup>국민대학교 기계자동차공학부, <sup>\*\*\*</sup>조선대학교 대학원 기계설계공학과

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

— The Case of Ethanol —

Jin Heung Kim<sup>†</sup>, Nak Kyu Chung<sup>\*</sup>, Sukhyun Kim<sup>\*\*</sup>, Chang Oh Kim<sup>\*\*\*</sup>, Seung Hyun Kang<sup>\*\*\*</sup>

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

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

*<sup>\*\*</sup>Department of Mechanical & Automotive, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea*

*<sup>\*\*\*</sup>Graduate School, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea*

*(Received August 7, 2004; revision received January 12, 2004)*

**ABSTRACT:** The ice thermal storage system is to use congelation latent heat of water. But, supercooling phenomenon of water during phase change is to increase the cooling capacity and to decrease COP of the refrigerator. Furthermore, this causes the operation cost of system to increase and the efficiency of energy to decrease. Therefore, the better thermal storage material than the water is required. The purpose of this study is to improve supercooling characteristics and thermal properties of TMA 30 wt% clathrate by using Ethanol.

**Key words:** Clathrate(포접화합물), Supercooling(과냉도), Thermal properties(열물성), Phase change temperature(상변화온도), Thermal storage material(축열물질)

#### 기 호 설 명

$c_{pb}$  : 저온축열물질의 비열 [kJ/kg℃]

$c_{pB}$  : Pyrex Bottle의 비열 [kJ/kg℃]

$m_b$  : 브라인의 질량 [kg]

$m_B$  : Pyrex Bottle의 질량 [kg]

$m_m$  : 저온축열물질의 질량 [kg]

$\dot{Q}_w$  : 브라인이 단위시간당 흡수한 열량 [kg]

$\Delta T_b$  :  $t_p$  동안 브라인의 온도변화 [℃]

$\Delta T_B$  :  $t_p$  동안 Pyrex Bottle의 온도변화 [℃]

$t_p$  : 상변화온도 유지시간 [s]

#### 하첨자

$b$  : 브라인

$B$  : Pyrex Bottle

$m$  : 축열물질

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-62-230-7046; fax: +82-62-230-7046

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

1. 서 론

국내의 경우 경제발전과 국민소득의 향상에 따른 하절기 냉방수요의 증가는 국가의 기간산업인 발전설비의 비효율적인 운영을 초래하는 주된 원인이 되고 있다. 이러한 하절기 주간전력의 침투부하를 심야 시간대로 전이하여 전체전력의 부하평준화를 이룰 수 있는 저온축열시스템의 필요성이 강조되고 있다. 환경친화적이며 에너지절약에 관련된 저온축열시스템의 연구는 국가 정책적인 차원에서 하절기 전력수급의 안정화를 주목적으로 금융지원, 법적 강제규정 등의 여러 가지 장려정책들이 활발하게 진행되고 있다.

본 연구에서 사용된 저온축열시스템에 적용 가능한 포접화합물(Clatrate)은 수소결합된 물분자의 구조 속에 기체분자가 포접된 구조를 하고 있다. 포접화합물 중의 기체분자는 주위의 물분자와 약한 van der Waals force에 의해 구속되어 있으므로 상변화온도는 순수한 물의 얼음보다 높은 5~7℃에서 수화물 결정이 생성되며, 온도에 따른 물성이 안정하고, 상분리현상 없이 합치녹음(Congruent melting) 현상을 보이면서 비교적 큰 잠열을 가지고 있다. 그리고 물에 비해 상변화온도가 높기 때문에 제빙운전시 냉동기의 COP를 향상시킬 수 있으며, 고효율의 시스템 구성이 가능하다.

한편 트리메틸아민(Tri-Methyl-Amine, TMA ;  $(CH_3)_3N$ )에 관한 연구로는 1930년대 Felsing et al.<sup>(1)</sup>과 Patterson et al.<sup>(2)</sup>이 25℃에서 클로로포름과 물 중에서 TMA의 분포도와 열용량, 그리고 용해열을 실험적으로 측정된 결과를 발표하였고, 1940년대에 Day et al.<sup>(3)</sup>은 TMA의 증기압력, 임계온도 및 임계압력을 측정된 실험결과를 발표하였다.

국내에서는 Yun et al.<sup>(4)</sup>이 테트라-하이드로-퓨란(Tetra-Hydro-Furan, THF ;  $C_4H_8O$ ) 및 R-141a의 포접화합물을 이용한 축냉특성에 대한 연구를 수행한 바 있으며, Chung et al.<sup>(5)</sup>은 R-141b 포접화합물에서 첨가제가 과냉각에 미치는 효과에 대한 연구를 하였다. 그리고 Kim et al.<sup>(6,7,8)</sup>은 TMA 30 wt%-물계 포접화합물의 농도와 냉열원의 온도 및 첨가제의 농도에 따른 열물성에 대한 실험을 통해 건물공조용 저온축열물질로서의 적용 가능성에 대한 실험적 연구를 수행하였다.

현재 국내에서 적용되고 있는 에너지이용 합리화 기술은 주로 소비자 측면에서의 비용감소를 주목적으로 하는 소극적 활용단계로서 저온용 잠열 축열재를 이용한 빙축열 냉방시스템을 시도한 예<sup>(9)</sup>가 있다. 미국, 일본 등의 주도로 약 20년 전부터 개발되어온 심야전력이용 빙축열시스템은 주로 건물공조용으로 응용하고 있으나, 일부에서는 저온용 잠열축열재를 이용한 산업·상업 분야로의 응용이 활발하게 진행되고 있다.

본 연구에서는 저온축열용 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethanol을 0.06, 0.08, 0.1 wt%의 질량농도로 첨가하여 냉열원온도 -6, -7, -8℃에서 냉각하였을 때의 상변화온도, 과냉도, 비열, 체적변화율, 잠열의 열물성에 대하여 첨가제에 의한 개선효과를 실험적으로 고찰하여 저온축열물질로서의 타당성을 검토하고자 한다.

2. 실 험

2.1 실험장치

본 연구에서는 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethanol을 첨가한 저온축열물질의 상변화온도, 과냉도, 비열을 측정할 수 있는 Fig. 1의 실험장치와 체적변화율을 측정할 수 있는 실험장치, 그리고 잠열을 측정할 수 있는 Fig. 2의 실험장치

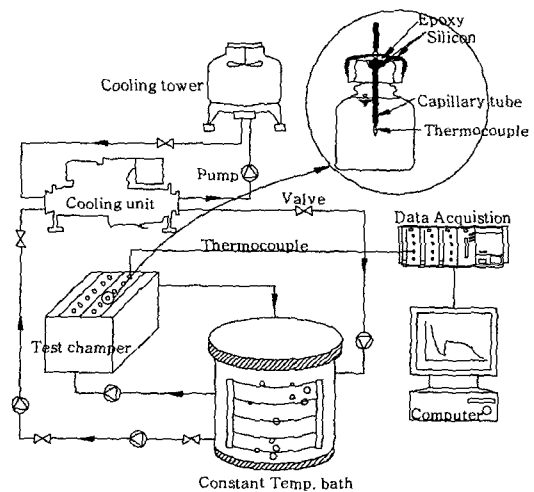


Fig. 1 Schematic diagram of thermal properties test.

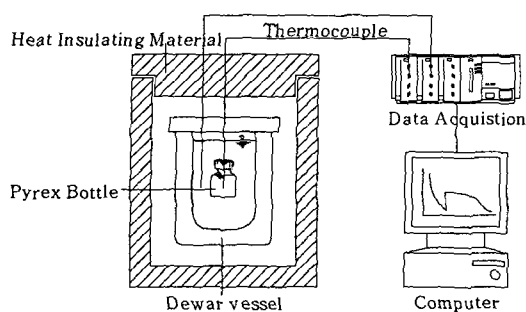


Fig. 2 Schematic diagram of latent heat test.

를 고안 설계 제작하여 연구를 수행하였다.

Fig. 1은 저온축열물질의 상변화온도, 과냉도, 비열을 측정하기 위해서  $\phi 0.25$  mm K-type 열전대가 설치된 용량 50 mL인 Pyrex Bottle(D 46 mm  $\times$  H 88 mm) 세트 5개를 아크릴판에 고정되도록 구성하여 실험조 내에서 실험이 안정적으로 이루어질 수 있게 하였으며, 왕복 압축식 냉동기(10 R/T), 저온항온조, 원심식 순환펌프를 실험조와 연결되게 시스템을 구성·제작하였다. 그리고 저온축열물질 50 g을 충전한 Pyrex Bottle 세트가 장착된 실험조에 설정온도( $-6$ ,  $-7$ ,  $-8^{\circ}\text{C}$ )로 유지된 냉열원 부동액을 연속 순환시키면서 냉각과정 동안의 냉각곡선을 Data Acquisition System으로 계속하여 이와 연결된 PC에 데이터를 기록하고, 모니터에서 관찰할 수 있도록 구성하였다.

Fig. 2는 저온축열물질의 잠열을 측정하기 위하여  $-8^{\circ}\text{C}$ 의 브라인이 충전된 듀어병(Dewar vessel) 내에 저온축열물질 50 g을 충전한 Pyrex Bottle 세트를 넣어 잠열을 측정할 수 있도록 제작하였다. 그리고 온도변화에 의한 체적변화율을 측정하기 위해서  $\phi 0.25$  mm K-type 열전대가 설치된 20 mL 삼각플라스크와 0.1 mL 피펫(측정정도 0.01 mL)을 이용하여 제작하였다.

## 2.2 실험방법

저온축열물질의 상변화온도, 과냉도, 비열을 측정하기 위해 Fig. 1의 저온항온조에 브라인을 충분히 충전한 다음, 아크릴제 저온실험조(720 $\times$ 520 $\times$ 390 mm)와 순환펌프를 연결하여 실험조 내의 온도가 설정온도( $-6$ ,  $-7$ ,  $-8^{\circ}\text{C}$ )로 유지될 때까지 브라인을 순환시켰다. 그 다음 증류수와 TMA 30 wt%-물계 포접화합물, 그리고 Ethanol을 0.06, 0.08, 0.1 wt%의 질량농도로 첨가한 저온축열물질

50 g을 5개의 Pyrex Bottle에 충전하여 아크릴 실험조에 고정하였다. 실험조 내의 온도를  $-6$ ,  $-7$ ,  $-8^{\circ}\text{C}$ 로 각각 변환시키면서 상변화하는 과정을 Data Acquisition System과 PC에 설치된 DAQ32 Software를 이용하여 냉각곡선을 취득한 후 상변화온도, 과냉도, 비열을 측정·분석하여 그 값의 평균으로 나타내었다.

잠열 측정은 정확성을 기하기 위하여 Fig. 2의 실험장치를 사용하여 진공원통인 듀어병을  $-8^{\circ}\text{C}$ 의 저온항온조에서 냉각시킨 후  $-8^{\circ}\text{C}$ 의 브라인 1,500 g을 듀어병에 충전하고, 저온축열물질 50 g을 충전한 1개의 Pyrex Bottle 세트를 듀어병의 중앙에 놓이게 하여, 시간경과에 따른 열을 흡수하는 브라인의 온도변화와 열을 방출하는 저온축열물질의 온도변화곡선을 분석하여 잠열을 구하였다.

체적변화율은 저온축열물질을 열전대가 설치된 삼각플라스크에 20 mL 충전한 후 0.1 mL 피펫을 이용하여 실험용 저온축열물질의 온도를  $20^{\circ}\text{C}$ 로 유지하였을 때의 체적과  $-8^{\circ}\text{C}$ 의 냉열원온도에서 상변화과정을 거쳐 냉열원온도까지 냉각한 후 체적을 측정하여 그 비로서 체적변화율을 구하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 상변화온도

상변화온도는 냉각과정이 진행되는 동안에 동결이 시작되는 동결개시온도로 나타내었으며, Data Acquisition System으로 기록된 값들을 DAQ 32 Software를 이용하여 Fig. 3, 4, 5와 같은 냉각곡선으로 나타내었다. 오차신뢰구간은 95%이다.

Fig. 3은 냉열원온도  $-6^{\circ}\text{C}$ 에서 저온축열물질의 냉각하는 동안의 그래프이다. Ethanol을 첨가하지 않은 경우 상변화온도는  $5.3 \pm 0.042^{\circ}\text{C}$ 를 나타내었으며, Ethanol 0.06, 0.1 wt%를 첨가한 경우 상변화온도가 각각  $5.5 \pm 0.12$ ,  $5.4 \pm 0.12^{\circ}\text{C}$ 를 나타내었다. 그리고 Ethanol 0.08 wt%를 첨가한 경우 상변화온도가  $5.6 \pm 0.07^{\circ}\text{C}$ 로 최고값을 나타내었다.

Fig. 4는 냉열원온도  $-7^{\circ}\text{C}$ 에서 냉각하는 동안의 그래프이다. Ethanol을 첨가하지 않은 경우 상변화온도는  $5.2 \pm 0.02^{\circ}\text{C}$ 를 나타내었으며, Ethanol의 각 질량농도에 따른 상변화온도는 Ethanol 0.08, 0.1 wt%를 첨가한 경우  $5.2 \pm 0.06$ 과  $5.2 \pm 0.07^{\circ}\text{C}$ 이었고, 0.06 wt%를 첨가한 경우  $5.3 \pm 0.06^{\circ}\text{C}$ 로서 최

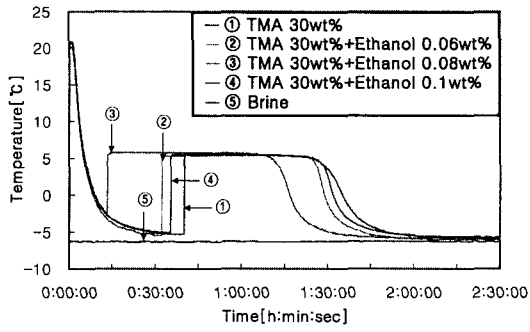


Fig. 3 Phase change curves of TMA 30 wt% clathrate with C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH in heat source of -6°C.

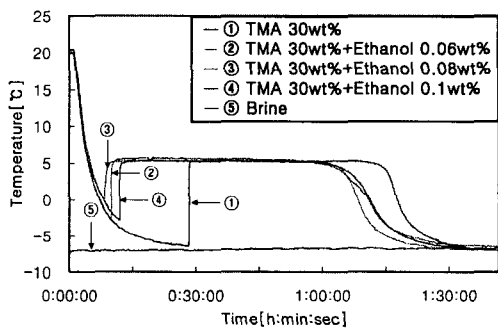


Fig. 4 Phase change curves of TMA 30 wt% clathrate with C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH in heat source of -7°C.

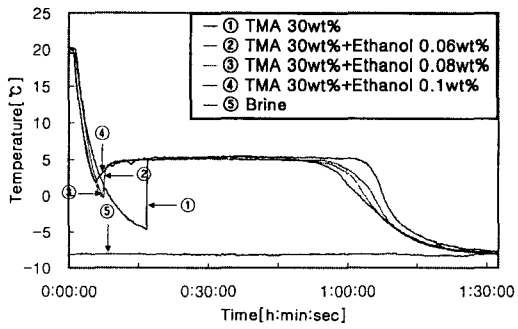


Fig. 5 Phase change curves of TMA 30 wt% clathrate with C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH in heat source of -8°C.

고값을 나타내었다.

Fig. 5는 냉열원온도 -8°C의 경우로서, Ethanol을 첨가하지 않은 경우  $5 \pm 0.03^\circ\text{C}$ , Ethanol 0.06, 0.08 wt%는 각각  $4.9 \pm 0.08$ ,  $5 \pm 0.08^\circ\text{C}$ 를 나타내었

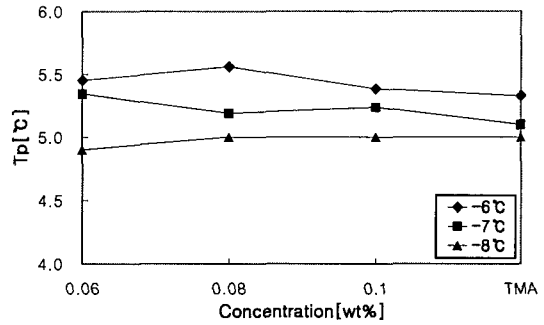


Fig. 6 Phase change temperature of TMA 30 wt% clathrate with C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH in variant heat source.

고, Ethanol 0.1 wt%의 경우  $5 \pm 0.06^\circ\text{C}$ 를 나타내었다.

Fig. 6은 냉열원온도별 Ethanol을 0.06, 0.08, 0.1 wt%의 질량농도에 따른 평균 상변화온도의 특성을 나타낸 그래프이다. Ethanol을 0.06, 0.08, 0.1 wt%의 질량농도로 첨가한 경우에 TMA 30 wt%-물계 포접화합물보다 높은 상변화온도를 나타내었다. 오차신뢰구간은 95%이다.

### 3.2 과냉도

Fig. 7은 상변화온도와 과냉온도(과냉각 상태를 유지한 최저온도)의 온도차로서 평균 과냉도의 특성을 나타낸 그래프이다.

냉열원온도 -6°C에서 생각하였을 때 Ethanol 0.08 wt%를 첨가한 경우에는 가장 높은 과냉도인  $10.8 \pm 0.83^\circ\text{C}$ 을 나타내었고, Ethanol 0.1 wt%를 첨가한 경우에서 가장 낮은 과냉도인  $9.1 \pm 0.48^\circ\text{C}$ 을 나타내었다. 그리고 Ethanol 0.06 wt%를 첨가한

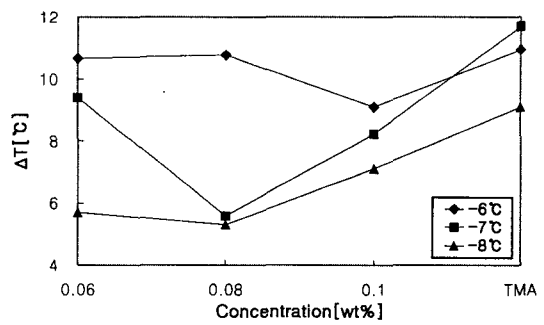


Fig. 7 Supercooling of TMA 30 wt% clathrate with C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH in variant heat source.

경우  $10.7 \pm 0.83^\circ\text{C}$ 의 과냉도를 나타내었다.

냉열원온도  $-7^\circ\text{C}$ 에서 냉각하였을 때 Ethanol을 0.06 wt%를 첨가한 경우에는  $9.4 \pm 0.63^\circ\text{C}$ 의 과냉도를 나타내었으며, Ethanol 0.08, 0.1 wt%를 첨가한 경우 각각  $5.6 \pm 0.62$ ,  $8.2 \pm 0.66^\circ\text{C}$ 의 과냉도를 나타내었다. 그러나 Ethanol을 첨가하지 않은 경우에는  $11.7 \pm 0.23^\circ\text{C}$ 의 과냉도를 나타내었으며, Ethanol을 첨가함으로써 2.3~6.1°C의 과냉억제효과를 나타내었다.

$-8^\circ\text{C}$ 의 냉열원에서 냉각한 경우에는 Ethanol 0.08 wt%가 가장 낮은  $5.3 \pm 0.7^\circ\text{C}$ 를 나타내었고, Ethanol 0.06, 0.1 wt%가 각각  $5.7 \pm 0.7$ ,  $7.1 \pm 0.51^\circ\text{C}$ 의 과냉도를 나타내었다. Ethanol을 첨가하지 않은 경우보다 2~3.8°C의 과냉억제효과를 나타내었다.

이는 TMA 30 wt%-물계 포접화합물과 첨가제가 포함된 저온축열물질 내의 입자들이 고체표면상에 형성된 빙핵 수분자(c/suter)의 활성화를 증가시켜 과냉도가 감소하였다고 사료된다. 또한 냉열원온도가 낮을수록 과냉도가 감소하는 것은 축열물질과 냉열원과의 온도차의 증가로 열전달률이 커져 상변화온도까지의 소요시간이 단축되었다고 사료된다. 그리고 첨가제에 따른 과냉억제효과를 알아보기 위해 일반선형모형으로 분산분석하였으며, 유의수준은 5%이고, 검정결과 -6, -7,  $-8^\circ\text{C}$ 에서 모두  $P < 0.05$ 를 나타내었다. 따라서 첨가제에 따른 과냉억제효과가 있다고 할 수 있다.

### 3.3 비 열

비열은 저온축열물질을  $20^\circ\text{C}$ 로 일정하게 유지

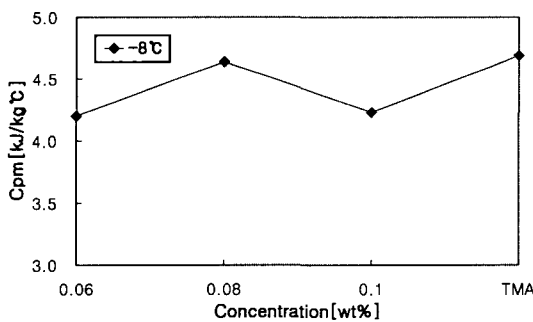


Fig. 8 Specific heat of TMA 30 wt% clathrate with  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  in variant heat source.

시킨 후 냉열원온도  $-8^\circ\text{C}$ 에서 냉각시켜 얻은 냉각곡선 Fig. 5로부터  $15^\circ\text{C}$ 에서  $10^\circ\text{C}$ 까지의 온도변화 동안의 시간을 조사하여 식에 의하여 비열을 구하였다. 이 비열을 평균하여 얻은 값을 각 질량농도별로 Fig. 8로 나타내었다. 오차신뢰구간은 95%이다.

$-8^\circ\text{C}$ 의 냉열원에서 냉각시킨 TMA 30 wt%-물계 포접화합물의 비열은  $4.7 \pm 0.07 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C}$ 를 나타내었으며, Ethanol 0.06, 0.08, 0.1 wt%를 첨가한 경우의 비열은 각각  $4.2 \pm 0.19$ ,  $4.6 \pm 0.19$ ,  $4.2 \pm 0.11 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C}$ 로 나타났다. 그중 Ethanol 0.08 wt%를 첨가한 경우 비열이 가장 높았다.

### 3.4 체적변화율

체적변화율은 저온축열물질을 삼각플라스크에 20 mL 충전한 후,  $20^\circ\text{C}$ 로 일정하게 유지시켰을 때의 체적과 냉열원온도  $-8^\circ\text{C}$ 에서 포접화합물을 생성시킨 후 충분히 냉열원의 온도까지 냉각시켜 체적을 측정하여 체적변화율을 구하여 Fig. 9에 나타내었으며, TMA 30 wt%-물계 포접화합물은  $20^\circ\text{C}$ 에서 측정된 체적보다  $-8^\circ\text{C}$ 로 냉각시킨 후 체적이  $1.40 \pm 0.07\%$  감소하였다. 그리고 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethanol 0.06, 0.08, 0.1 wt%를 첨가하여  $-8^\circ\text{C}$ 에서 냉각시킨 경우에는 각각  $20^\circ\text{C}$ 에서보다  $2.12 \pm 0.18$ ,  $1.98 \pm 0.18$ ,  $2.59 \pm 0.18\%$ 의 체적감소율을 나타내었으며, Ethanol 0.1 wt%를 첨가한 경우에 최대 체적감소율을 나타내었다. 오차신뢰구간은 95%이다.

이와 같이 물의 상변화시 체적이 증가하는 현상과 달리 체적이 감소하는 이유는 TMA 30 wt%-물계 포접화합물이 상변화온도에서 물분자가 수

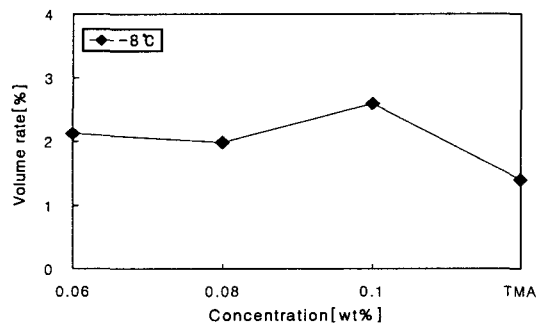


Fig. 9 Volume rate of TMA 30 wt% clathrate with  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  in heat source of  $-8^\circ\text{C}$ .

소결합의 공동(cage)을 형성하고 이 공동 안으로 TMA 기체분자가 포위 또는 포접되기 때문에 포접된 기체분자만큼의 체적이 감소하는 것으로 판단된다. 그리고 TMA 30 wt%-물계 포접화합물보다 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 첨가제를 첨가하여 냉각한 경우에서 0.69~1.19% 높은 체적감소율을 나타내었다. 이는 첨가제에 의해 분자량이 증가하여 물분자의 수소결합과 기체분자 사이의 인력이 상승하기 때문이라고 사료된다. 또한 첨가제에 따른 체적변화를 알아보기 위해 분산분석하였으며, 유의수준은 5%이고, 검정결과  $-8^{\circ}\text{C}$ 에서 모두  $P < 0.05$ 를 나타내었다. 따라서 첨가제에 따른 체적변화에 효과가 있다고 할 수 있다.

특히, Ethanol 0.1 wt%을 첨가한 경우 최대체적감소율을 나타내었는데, Ethanol은 물에 임의의 비율로 혼합되고 그때 발열하여 체적이 줄어들고,  $3\text{H}_2\text{O}$ 의 비율에서는 체적의 감소가 최대가 되는 특성을 가지고 있다.

3.5 잠 열

잠열은 저온축열물질을  $20^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지시킨 후, 열량계 내  $-8^{\circ}\text{C}$ 의 브라인에서 저온축열물질이 상변화온도에서 포접화합물을 생성하는 동안 열량계 내에 충전된 브라인의 현열변화와의 관계로부터 식(1)에 의해 잠열량을 구하였다.

$$h_m = \frac{m_b C_{pb} \Delta T_b - (\dot{Q}_w t_p + m_B C_{pB} \Delta T_B)}{m_m} \quad (1)$$

Fig. 10과 같이  $20^{\circ}\text{C}$ 로 유지된 TMA 30 wt%-

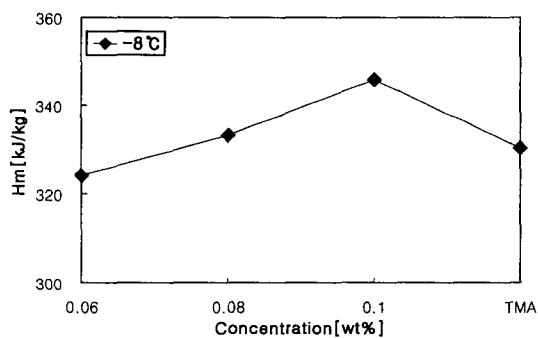


Fig. 10 Latent heat of TMA 30 wt% clathrate with  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  in heat source of  $-8^{\circ}\text{C}$ .

물계 포접화합물을 열량계  $-8^{\circ}\text{C}$ 의 브라인에서 냉각한 경우, 잠열량은  $330.4 \pm 10.26 \text{ kJ/kg}$ 이었으며, Ethanol 0.06, 0.08, 0.1 wt%를 첨가하여  $-8^{\circ}\text{C}$ 에서 냉각한 경우 각각  $324.1 \pm 31.02$ ,  $333.2 \pm 31.02$ ,  $345.8 \pm 31.02 \text{ kJ/kg}$ 이었다. Ethanol 0.06 wt% 첨가한 경우를 제외하고는 모두 첨가제를 첨가하지 않은 TMA 30 wt%-물계 포접화합물보다 높은 잠열량을 나타내었다. TMA 30 wt%-물계 포접화합물의 잠열량은 물의 잠열량인  $335 \text{ kJ/kg}$ 과 거의 같은 수준의 잠열량을 나타내었으며, TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 위와 같이 첨가제를 질량농도로 첨가한 경우에는 대체적으로 물보다 큰 잠열량을 나타내었다. 오차신뢰구간은 95%이다.

특히 Ethanol 0.1 wt%을 첨가한 경우는 물보다  $10.8 \text{ kJ/kg}$ , 첨가제를 첨가하지 않은 TMA 30 wt%-물계 포접화합물보다  $15.4 \text{ kJ/kg}$  큰 잠열량을 나타내었다. TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 위와 같은 첨가제들을 첨가한 경우, 분자간 인력의 상승과 냉각과정 중 액체 현열구간의 비열이 상승하여 반응열과 엔탈피가 증가함으로써 포접화합물 생성작용이 활성화되어 잠열량이 증가하는 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 에너지의 합리적 이용과 대안으로서 주목받고 있는 건물 공조용 저온축열용 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 대하여 상변화온도, 과냉도, 비열, 체적변화율, 잠열의 열물성에 미치는 첨가제의 효과에 대한 실험적 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 상변화온도는 냉열원  $-6^{\circ}\text{C}$ 에서 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethanol 0.08 wt%를 첨가한 경우에 상변화온도가 평균  $5.6^{\circ}\text{C}$ 로 최고값을 나타내었다.
- (2) 과냉도는 냉열원  $-7^{\circ}\text{C}$ 에서 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethanol 0.08 wt%를 첨가한 경우에 평균  $6.1^{\circ}\text{C}$ 로 최대과냉역제효과를 나타내었다.
- (3) 비열은 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethanol 0.08 wt%를 첨가한 경우 가장 높은  $4.6 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ 를 나타내었다.
- (4) 체적변화율은 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethanol 0.1 wt%을 첨가한 경우에 최대체

적감소를 2.59%을 나타내었다.

(5) 잠열은 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethanol 0.1 wt%을 첨가한 경우에 평균 345.8 kJ/kg으로 최고값을 나타내었다.

이와 같은 결과로부터 저온축열시스템의 저온 축열물질로서 적용 가능한 TMA 30 wt%-물계 포접화합물에 Ethanol을 첨가함으로써 열물성이 개선되어 냉동기의 가동시간의 단축과 냉동기 가동효율의 증가, 설치비의 절감 및 시스템 효율의 향상이 기대된다.

## 후 기

본 연구는 2000년 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분들에게 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. Felsing, W. A. and Jessn, F. W., 1933, The heat capacities of gaseous mono- and dimethylamines, J. of American Chemical Society 55, pp. 4418-4422.
2. Patterson, A. and Felsing, W. A., 1946, The heats of solution of gaseous di- and trimethylamine, Journal of the American Chemical Society 60, pp. 2693-2695.
3. Day, H. O. and Felsing, W. A., 1950, Some vapor pressures and the critical constants of trimethylamine, Journal of the American Chemical Society 72, pp. 1698-1699.
4. 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.
5. Chung, I. S., Kim, Y. G., Lee, J. S. and Ro, S. T., 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.
6. 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.
7. Kim, J. H., Chung, N. K. and Han, Y. 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.
8. 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.
9. 1994, A research & development on cold storage air conditioning system, Korea Electric Power Research Institute, KRC-90D-J03.