

## PA27) 이산화탄소 열사이폰의 가시화에 관한 실험적 연구

이종필\*, 정상진

경기대학교 환경공학과

### 1. 서 론

기존의 CFC/HFC냉매는 오존층파괴 및 지구온난화에 큰 영향을 미치기 때문에 이를 대신할 수 있는 환경 친화적인 대체냉매에 대한 많은 연구가 진행 중이다. 현재 대체냉매로 고려되는 HFC계열의 냉매 역시 지구 온난화 지수가 높고 기존의 시스템에 그대로 사용할 경우 성능이 저하되는 문제가 있어 많은 연구자들이 환경문제를 거의 야기시키지 않는 HC계열, 이산화탄소, 암모니아 등의 천연 냉매를 대안으로 제시하고 있다. 이 중에서 이산화탄소는 암모니아에 비해 독성이 없고, HC계열의 냉매와 달리 가연성이 없으며, 상대적으로 가격이 저렴하고 구하기 쉬운 장점이 있다. 또한, 최근 들어 냉동 및 공조기기의 소형화에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 고압으로 작동하는 이산화탄소는 매우 유용하다. 이산화탄소는 대기 중의 공기에서 분류하여 추출하기 때문에 원료는 무한하며, 열역학적 물성치 및 전달 물성치가 우수하여 냉매로 적합한 성질을 가지고 있다. (조은석외 2명, 2002)

열사이폰은 다양한 산업 분야에서 사용되고 있으며, 그 예로는 보일러의 폐열회수, 화학 공정에서의 열회수 폐기물 처리에서의 폐열회수, 새로운 에너지원으로 지열 회수, 태양에너지의 열회수 그리고 기타 다양한 공학 응용 분야에서의 열회수를 들 수 있다(M. S. El-Genk and H. Saber, 1998) 기존의 열사이폰에 대한 연구는 작동 유체로 물, 알코올, 암모니아, HC, HCF 등이 주로 사용되고 있다. 최근 오존층 파괴 및 지구 온난화 문제 등 환경문제가 새롭게 대두되면서, 천연 냉매에 대한 관심이 고조되면서 1990년대 이후 냉매로서의 이산화탄소에 대한 연구가 새롭게 이루어지고 있다. 이산화탄소의 증발과정 중에 있어서 작동유체인 이산화탄소의 비체적, 비열, 밀도, 표면장력 등의 물성치가 크게 변화하므로 기존의 프레온계 냉매의 증발 열전달 특성과는 상당히 다른 결과를 보고하고 있다. 현재 이산화탄소의 증발과정 중에 발생하는 열전달 메커니즘에 대한 규명은 이산화탄소의 복잡한 유동형태와 물성치 변화로 인해 주로 실험적인 연구가 진행되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 이산화탄소를 작동 유체로 하는 열사이폰에 대한 연구에 대한 기초적인 연구로, 가열수의 온도변화에 따른 열사이폰 벽면에서의 온도 분포와 열사이폰 내부의 유동을 관찰하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 본 연구에 주로 사용된 실험장치의 개략도를 나타낸다. 실험 장치는 열사이폰

의 시험구간, 냉각수 순환회로, 가열수 순환회로, 온도측정 및 기록 장치로 구성된다. 본 연구에서 사용한 열사이폰의 총길이는 800mm이다. 열사이폰은 증발부(Evaporator Section), 단열부(Adiabatic Section), 응축부(Condenser Section)로 구성되며, 증발부와 응축부의 길이는 각각 200mm와 350mm이며, 단열부의 길이는 250mm이다. 열사이폰의 본체는 재료, 절연 특성을 고려하여 내경 22.6mm, 두께 1.4mm인 동관(Copper Pipe)과 열사이폰 내부를 관측할 수 있도록 길이 150mm, 내경 19.1mm, 두께 3.3mm인 폴리카보네이트(Polycarbonate)를 1 inch 피팅(Fitting)을 이용해서 증발부 상부에 연결하였다.

가열수용 항온조에서 일정한 온도 즉, 5, 10, 15, 20, 25 그리고 30도로 가열된 가열수는 펌프를 통하여 가열수 챔버 내부로 흘러들어가 열사이폰의 증발부를 가열한다.

냉각에 사용되는 냉각수는 냉각수용 항온조에서 5°C의 온도로 유지하면서 1 l/min으로 일정한 유속을 유지시켜 열사이폰의 응축부에 설치된 워터자켓(Water jacket) 내부에 흘러들어가 냉각시킨다. 시험구간의 외부는 주위로부터 열손실을 방지하기 위하여 응축부와 단열부는 단열보온재로 단단하게 보온하여 실험하였다.

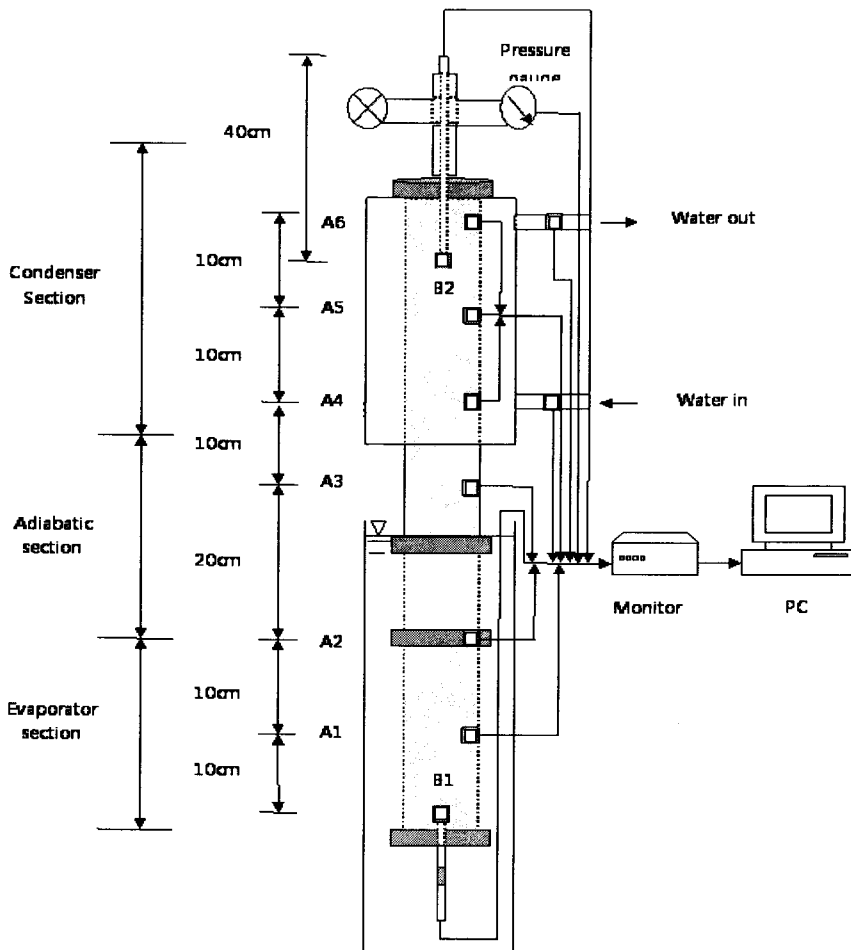


Fig. 1 Schemetic Diagram of Experimental Apparatus.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 2에서는 냉각수의 유량을 1.0L/min으로 고정하고 증발부 길이를 200mm로 고정하고 작동 유체 채움비(작동 유체체적/전체체적)가 34.5%인 경우 가열수의 온도를 증가시키는 경우 열사이폰 내부 온도 분포를 나타내었다. 가열수의 온도가 저온인 경우 증발부의 온도 변화는 작으나 고온으로 갈수록 증발부의 온도가 단열지역으로 갈수록 줄어드는 변화를 나타낸다.

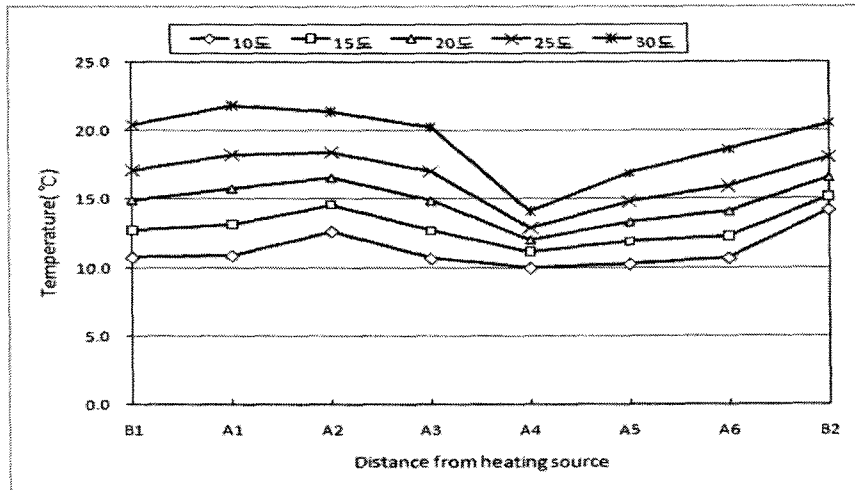


Fig. 2. Temperature distribution along the thermosyphon

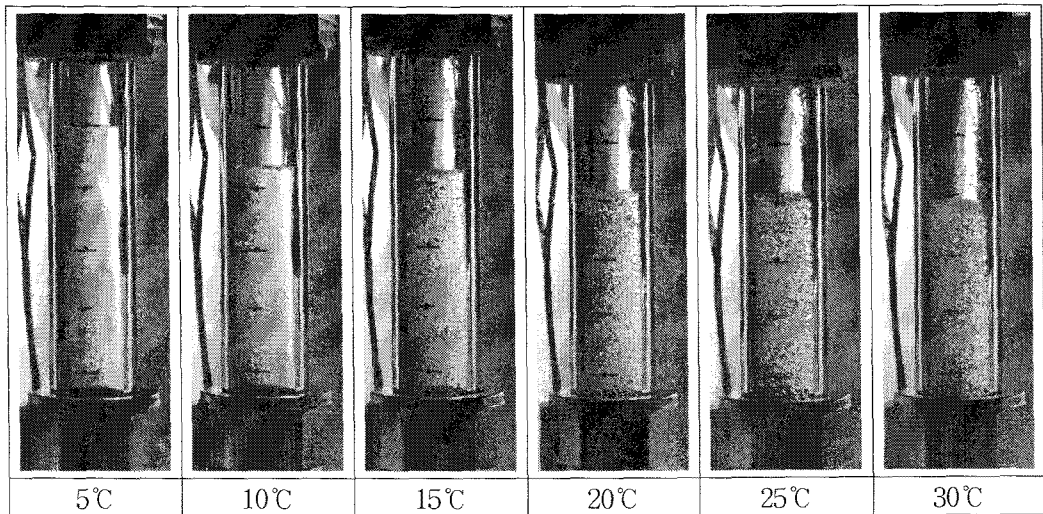


Fig. 3. Photographs of the nucleate boiling section.

Fig. 3.에서는 폴리카보네이트(Polycarbonate)를 통해 열사이폰 내부 작동유체가 가열수 온도에 따라 변하고 있는 현상을 사진으로 찍은 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이

가열수의 온도증가에 따라 풀(pool)안에 기포의 양이 증가되고 이에 따라 풀 높이가 감소하였다. 응축부에서 냉각되어 벽면을 통해 내려오는 액체이산화탄소는 눈으로 직접 확인이 가능하였다.

열사이폰의 단위 시간당 열전달율은 식(1)에 의해 구해진다.

$$Q = mC_p(T_o - T_i) \quad (1)$$

여기서  $m$ 은 질량유량(kg/s),  $C_p$ 는 정압비열(J/kg · k) 그리고  $T_o$ 와  $T_i$ 는 냉각수의 입·출구 온도의 평균값을 대입하여 계산하였다.

그리고 열전달율을 구한 후 식(2)을 이용하여 실험 열전달계수를 구했다.

$$h_{exp} = \frac{Q}{A_e(T_e - T_a)} \quad (2)$$

여기서  $A_e = \pi DL_e$  그리고  $T_e$ 와  $T_a$ 는 증발부와 단열부 온도의 평균값을 대입하여 Fig. 4.에서와 같은 열전달율에 따른 열전달계수와의 상관관계를 차트로 나타내었다.

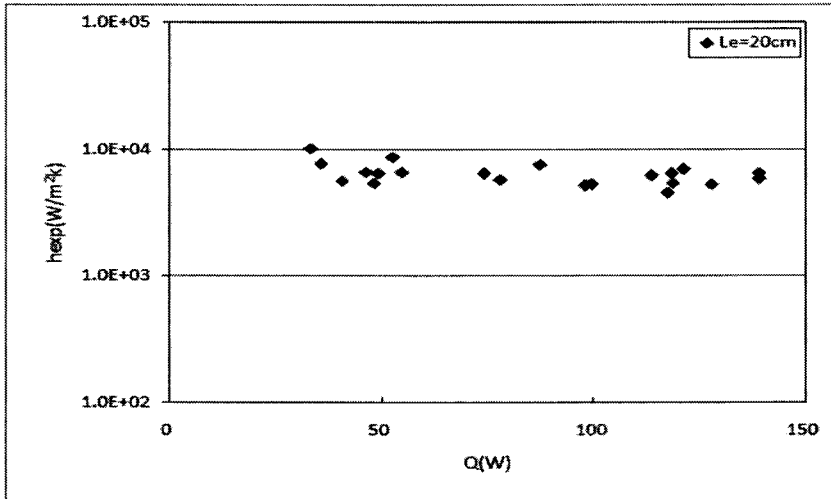


Fig. 4. Comparison of experimental data with correlation

자동 유체의 채움 비가 고정될 때 열전달율 변화에 따른 열전달계수의 변화는 미미한 것으로 나타났다.

### 참 고 문 헌

조은석 외 2명, 2002, 이산화탄소의 증발열전달 특성에 관한 실험적 연구, 설비공학 논문집 제 14권 제1호, pp38-45.  
 M. S. El-Genk and H. Saber, 1998, Heat transfer correlations for small, uniformly heated liquid pools, Int. J. heat & mass Transfer. Vol. 41, No.2 pp261-274.