

평행류 이산화탄소 증발기에서 유량분배에 관한 실험적 연구

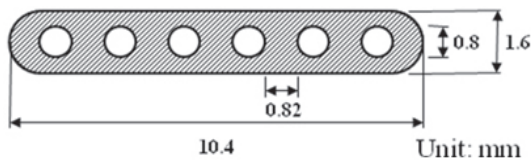
김 대 환

서강대학교 기계공학과(daehwan@sogang.ac.kr)

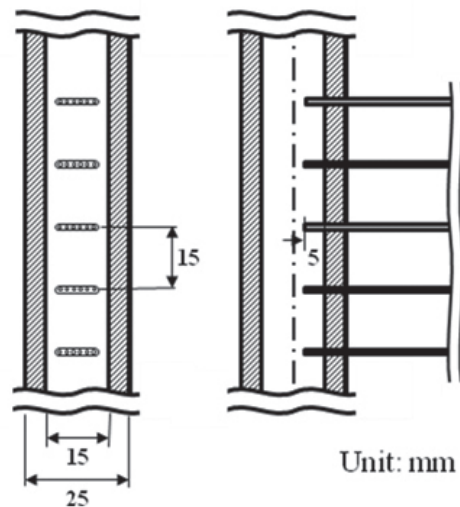
연구배경 및 목적

20세기 말 몬트리올의정서를 통해 본격적으로 시작된 합성냉매에 대한 규제는 현재도 지속적으로 이루어지고 있는 기후변화 협약에 따라 나날이 강해지고 있다. 이에 따라 합성냉매에 관한 많은 연구 및 개선이 이루어졌지만 합성냉매는 그 태생의 특성상 ODP(ozone depletion potential)와 GWP(global warming potential)로부터 자유로울 수 없다. 이에 따라 합성냉매가 개발되기 전 이용되었던 자연냉매가 새로이 주목받기 시작했다. 자연냉매는 오존층파괴나 지구온난화를 전혀 야기시키지 않는다는 장점이 있지만, 합성냉매에 비해 편리성 및 안전성 측면에서 부족한 점이 많다. 현재 널리 사용되는 자연냉매로 암모니아, 이산화탄소, 탄화수소 등이 있는데 이중 이산화탄소는 독성과 가연성이 없고 열역학적 특성이 우수하다는 장점이 있다. 하지만 일반적으로 냉각시스템에 요구되는 작동온도에서 높은 포화압력을 가지기 때문에 시스

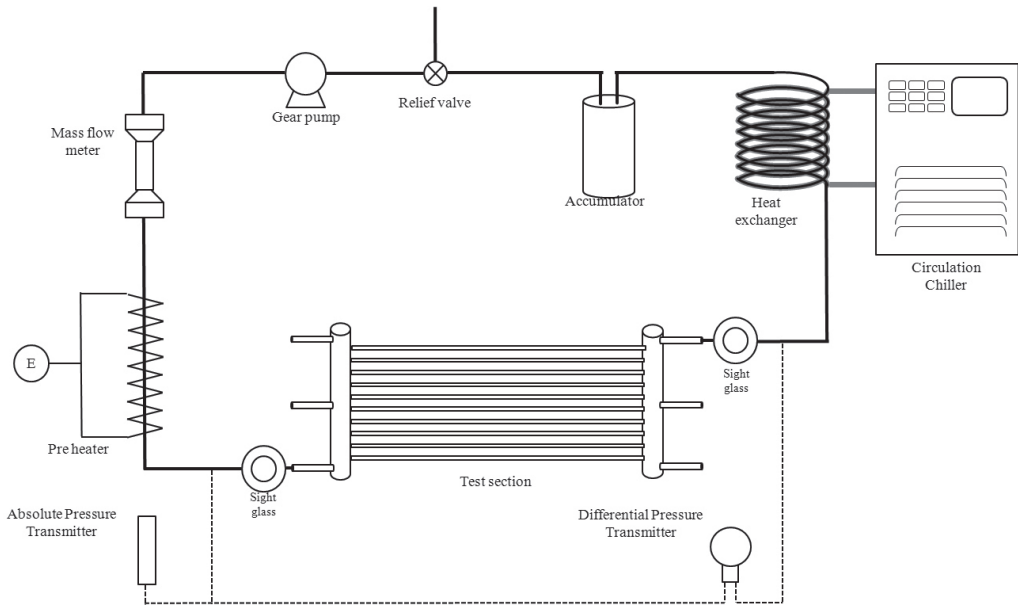
템을 구성하기 힘들다는 단점이 있다. 이산화탄소를 냉매로 사용하는 냉각시스템에 요구되는 압력은 420bar 이며, 이 값은 기존의 시스템에 요구되는 압력의 배 이상이기 때문에 모든 구성요소에 대한 새로운 해석이 필요하다. 증발기의 경우 관의 내경이 작아질수록 높은 압력을 견디는데 유리하기 때문에 이에 관련된 연구가 활발히 진행되어왔다. 현재 이산화탄소용 증발기로 내경이 1 mm이하인 관을 적용하려는 연구가 이루어지고 있으며, 이에 따라 널리 쓰이던 동관 재질의 핀튜브로 이루어진 증발기 대신 평판관을 이용한 평행류형 증발기가



[그림 1] 미니처져 채널 증발관의 단면



[그림 2] 증발기 헤드 단면



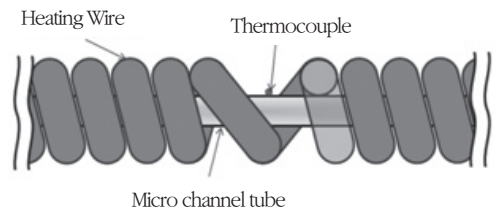
[그림 3] 실험장치 구성

널리 쓰일 것이라 예측된다. 내경이 작은 관은 내압을 견디는데 유리할 뿐 아니라 냉매와 증발기가 접하는 면적이 증가한다는 장점도 가진다. 따라서 이를 이용해 제작되는 열교환기는 안전성뿐 아니라 효율면에서도 큰 장점을 가질 것이라 예상된다. 하지만 평행류형 열교환기의 경우 그 내부를 흐르는 냉매가 불균일하게 분배될 경우 효율이 크게 감소하게 되기 때문에 이를 막기 위한 연구가 필요하다. 0.8 mm의 내경을 가지는 평판관 10개를 이용해 평행류형 증발기를 제작하고, 내부를 흐르는 이산화탄소의 분배에 관한 연구를 수행하였다.

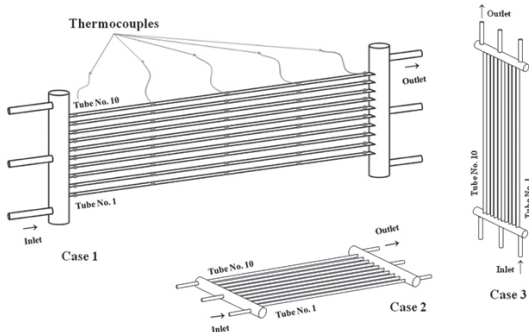
연구방법

본 연구는 직경 0.8 mm의 구멍을 가지는 미니 어쳐 채널 평판관으로 제작된 평행류형 증발기 내부를 흐르는 이산화탄소의 분배경향을 확인하기 위해 수행되었다. 열교환기 제작에 직경 0.8 mm의 구멍이 6개 뚫려있는 1 m 길이의 평판관이 사용되었으며 그 단면은 그림 1에 나타난 바와 같다. 증

발관을 연결해주는 헤더부의 형상은 그림 2에 나타난 바와 같다. 실험장치는 실제 시스템을 재현하기 위해 이산화탄소를 증발, 응축시킬 수 있도록 그림 3과 같이 구성되었다. 시스템을 순환하는 이산화탄소는 액체상태로 증발기에 유입되며 증발기를 지나며 기체가 된 후 냉각기와 연결된 열교환기를 지나며 다시 응축되도록 구성되었다. 액체상태로 흐르는 냉매의 질량유량을 측정 및 제어하기 위해 질량유량계와 기어펌프가 설치되었으며 증발온도는 포화압력을 측정함으로써 확인하였다. 그림 4와 같이 증발기에 열선을 감아 냉매에 내부를 흐르는 이산화탄소를 가열해주었으며, 외벽의 온도를



[그림 4] 증발기 가열을 위한 열선 및 온도측정을 위한 열전대



[그림 5] 중력의 영향을 고려한 3가지 증발기 자세

측정해 각 관으로 들어가는 이산화탄소 유량을 예 측하였다. 증발기의 자세에 따른 냉매의 분배경향 을 보기 위해 그림 5와 같이 증발기의 자세를 바꾸 어 가며 실험을 수행하였다.

증발기 내부를 흐르는 냉매는 건도가 1이 되는 지점까지 포화온도를 유지한다. 때문에 관 외벽의 온도가 내부 냉매의 상태를 반영하게 하기 위해 냉 매가 적게 들어가는 관에서 과열현상이 일어나도 록 열유속을 식 (1)과 같이 가해주었다.

$$q_s'' = \frac{h_{fg} \times m'' \times \alpha}{A} \quad (1)$$

q_s'' =열유속[kW/m²]

h_{fg} =증발잠열[kJ/kg]

m'' =질량유량[kg/m²s]

α =채널의 단면적

A =냉매와 증발관 접촉면적

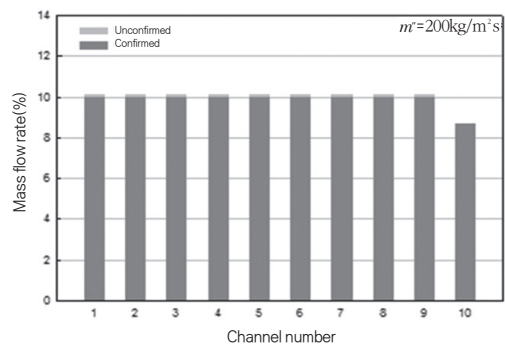
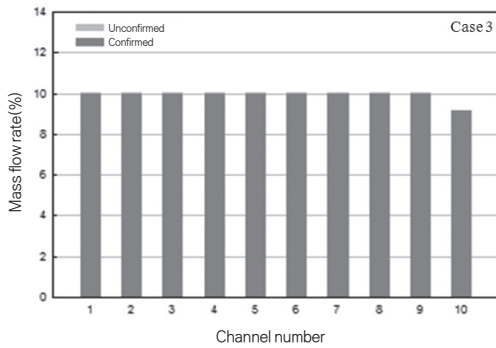
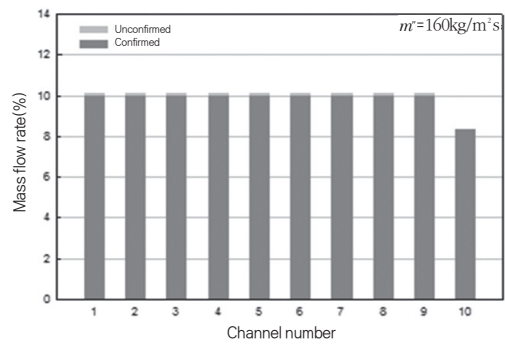
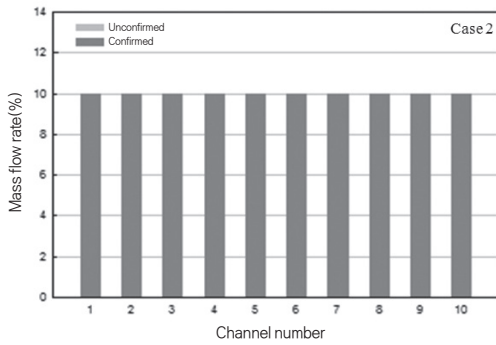
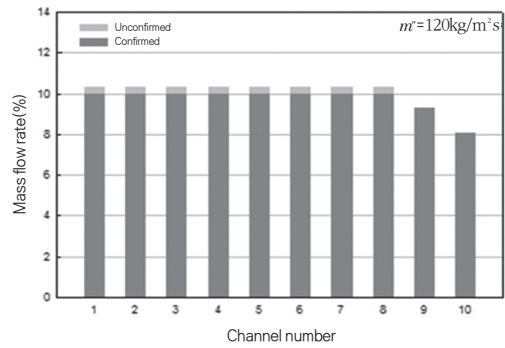
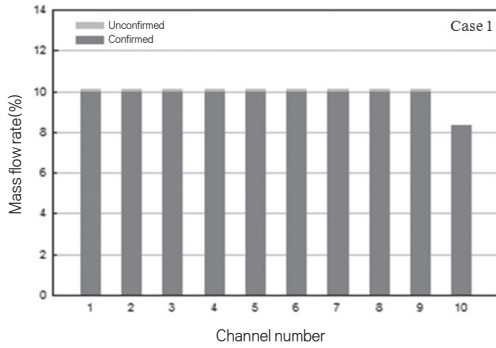
증발기에서 열유속 값을 q_s'' 만큼 가해줄 경우 냉 매가 부족하게 들어가는 증발관이 있으면 관의 끝 부분에서 냉매가 과열증기상태가 되어 온도가 올라가게는 현상을 관찰할 수 있었다. 과열된 증기가 관 외벽의 온도에 미치는 영향을 확인하는 실험을 수행하였으며 이를 통해 과열되는 증발관에 들어 가는 냉매의 양을 계산하였다. 하지만 이와 같은 방

법은 냉매가 적게 흐르는 증발관 내부의 유량을 예 측할 수 있지만, 냉매가 충분히 흐르는 관 내부의 유량을 측정할 수 없다는 단점을 가진다.

실험결과

그림 6은 증발기 자세에 따른 냉매 분배경향을 보여준다. 증발관과 헤더파이프가 지면과 수평하 게 위치한 경우 (case2) 냉매가 각 튜브에 균일하 게 유입되는 현상을 확인하였다. 헤더파이프가 지 면과 수직하게 위치한 경우(case1) 가장 상부에 위 치한 튜브로 흐르는 냉매의 양이 부족한 것이 확인 되었으며, 증발관이 지면과 수직하게 위치한 경우 (case3) 냉매가 유입되는 쪽에 위치한 관으로 냉매 가 덜 들어가는 경향이 확인되었다. Case1의 경우 헤더파이프가 지면과 수직으로 위치하기 때문에 내부 냉매가 중력에 큰 영향을 받을 것이라 예상되 었다. 헤더 안에 기체상태의 냉매가 존재할 경우 중 력에 의한 영향은 냉매의 균일한 분배를 더욱 방해 할 것이라 예상할 수 있다. Case2와 case3의 경우 헤더파이프가 지면과 수평하게 위치하기 때문에 상대적으로 냉매가 고르게 분배되는데 유리하고 예상되었으며 이것은 실험결과를 통해 확인할 수 있었다. Case3의 경우 헤더가 지면과 수평하게 위 치했음에도 불구하고 냉매가 불균일하게 분배되는 경향을 보이는데 이는 유입되는 냉매가 가지는 운 동량 때문이라 판단되지만 정확한 확인이 불가능 하였다.

그림 7은 헤더파이프가 지면과 수직하게 위치 할 때 냉매의 질량유량이 그것의 분배에 미치는 영 향을 보여준다. 질량유량이 증가함에 따라 냉매가 균일하게 분배되는 경향을 보인다. 냉매의 질량유 량이 증가할 경우 유입되는 냉매의 운동량이 증가 하기 때문에 냉매의 불균일분배를 야기시킬 수 있 다. 하지만 동시에 각 튜브에서 발생하는 압력 강하 값이 커지기 때문에 상대적으로 중력에 의해 발생



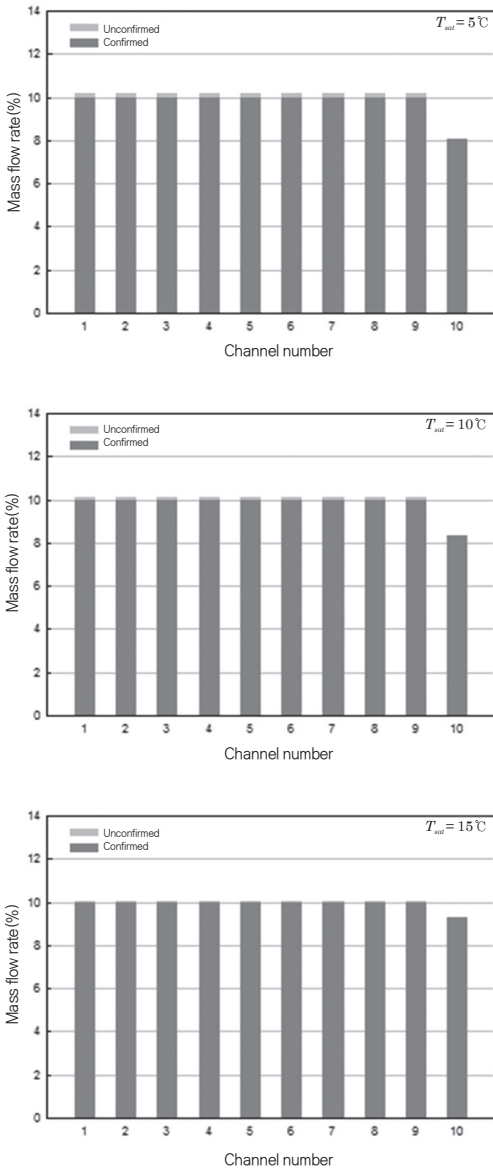
[그림 6] 증발기 자세에 따른 냉매 유량 분포 ($T_{sat} = 10^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 160 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$)

[그림 7] 냉매의 질량유량에 따른 냉매 유량 분포 (Case1, $T_{sat} = 10^\circ\text{C}$)

하는 영향이 작아져 냉매분배에 유리한 영향을 미칠 수 있고, 실험결과는 후자의 영향력이 더 강함을 보여준다. 또한 헤더파이프 내에 기체상태의 냉매가 존재할 경우 질량유량이 증가하면 그것이 차지하는 부피가 감소할 것이라 예상할 수 있고 이것이 실험결과의 원인이 될 수 있다.

그림 8은 헤더파이프가 지면과 수직하게 위치

할 때 증발온도의 변화에 따른 냉매분배의 변화경향을 보여준다. 냉매의 온도가 증가할수록 냉매의 점도가 감소한다. 이 경우 각 튜브에서 발생하는 압력 강하값이 감소하게 되므로 냉매가 불균일하게 분배될 수 있는 원인이 된다. 하지만 실험결과는 반대의 경향을 보여준다. 증발관에서 발생하는 압력 강하보다 더 큰 영향력이 헤더파이프 내에서 발생



[그림 8] 증발온도의 변화에 따른 냉매 유량 분포
(Case1, $m''=160\text{kg/m}^2\text{s}$)

했을 것이라 여겨지지만, 정확한 원인을 확인할 수는 없었다. 냉매의 온도가 올라갈수록 외기와 온도차가 적어지기 때문에 내부 냉매의 기화가 적어져 기체상태의 냉매가 감소할 수 있을 것이라는 가정을 한다면 앞서 언급한 헤더파이프 내 기체상태 냉매가 하나의 이유라 생각할 수 있다.

맺음말

대체냉매로 주목 받는 이산화탄소를 냉매로 사용하는 냉각시스템에 적용 가능한 평행류형 증발기에 대한 연구를 수행하였다. 평행류형 증발기의 효율에 큰 영향을 미치는 냉매의 분배 경향을 실험을 통해 확인해보았다. 미니어쳐 채널로 이루어진 평행류형 증발기 내부에서는 일반 평행류형 증발기보다 냉매가 고르게 분배되는 경향을 보이지만 헤더파이프와 지면이 이루는 각도에 영향을 받는 것이 확인되었다. 헤더파이프가 지면과 수직하게 위치한 경우 가장 상부에 위치한 튜브로 유입되는 냉매의 양이 감소하는 결과를 얻었고 이 때 냉매의 질량유속이 증가하거나 증발온도가 올라가면 그 경향이 약해짐을 확인할 수 있었다.

증발기 내부의 냉매 분배를 확인하기 위해 외벽 온도만을 측정했기 때문에 내부 냉매의 흐름에 아무런 영향을 주지 않은 상태에서 냉매 분배를 측정할 수 있었다. 하지만 냉매가 과도하게 들어가는 튜브에 대한 측정이 불가능 했다. 또한 그 값을 직접적으로 측정한 것이 아니기 때문에 본 실험결과에 대한 신뢰성은 근본적으로 낮을 수밖에 없었으며, 추후 연구를 위해 측정방법의 개선이 필요하다 여겨진다. (40)