

평행류형 마이크로채널 이산화탄소 증발기에서 냉매분배에 관한 연구

정시영[†], 김대환

서강대학교 기계공학과

A Study on the Refrigerant Distribution

in a Parallel Flow Micro-Channel CO₂ Evaporator

Siyoung Jeong[†], Dae-hwan Kim

ABSTRACT: In this study, the distribution of CO₂ in an evaporator with 10 parallel micro channel aluminum tubes are experimentally investigated. Each tube has 6 circular micro channels with a diameter of 0.8mm. The tubes are heated with electric resistance wires, and the distribution of CO₂ into each tube is investigated by measuring the outer wall temperature. The outer wall temperature was found to be higher at the exit part of the top tube. It is thought that the CO₂ vapor at the upper part of the header reduces the mass flow rate of CO₂ into the top tube.

Key words: Evaporator(증발기), Carbon dioxide(이산화탄소) Refrigerant distribution(냉매 분배), Micro channel tube(마이크로채널 튜브)

기호 설명

- A : 내벽 면적 [m²]
- L : 튜브 길이 [m]
- l : 입구부에서 떨어진 거리 [m]
- ΔP : 입구부와 출구부간 차압 [kPa]

하첨자

- in : 입구
- sat : 포화상태
- wo : 외벽

1. 서론

기술이 환경에 미치는 영향에 대한 관심이 날로 커짐에 따라 자연냉매의 연구 필요성 역시 큰 주목을 받고 있다. CO₂는 열적 특성이 우수하고,

독성이 없어서 기존의 냉매를 대체할 수 있는 유력한 후보로 거론되고 있다. CO₂를 냉매로 사용하는 냉동 시스템은 기존 시스템보다 고압에서 작동하므로, 내압성이 우수한 마이크로 채널 튜브가 널리 사용될 것으로 예상된다.

마이크로 채널을 사용한 증발기에 관한 연구는 상당히 많이 이루어 졌지만^(1, 2) CO₂에 대한 연구 결과는 아직 부족한 실정이다. 더욱이 CO₂는 2상일 경우 유동특성이 기존에 사용되어온 냉매와 크게 다르기 때문에, 독자적인 연구가 필요함에도 불구하고 충분하지 못한 연구가 이루어졌다^(3, 4). 특히 평행류형 마이크로 튜브 증발기에서는 각 튜브로 들어가는 냉매의 유량이 균등한 것이 중요한데, J. Pettersen et al.⁽⁵⁾은 증발기 내에서 냉매의 분포가 그것의 성능을 결정하는데 중요한 요소라고 밝혔다.

본 연구에서는 수직헤더에 10개의 다채널 마이크로관을 평행으로 연결해 그 안에서의 냉매를

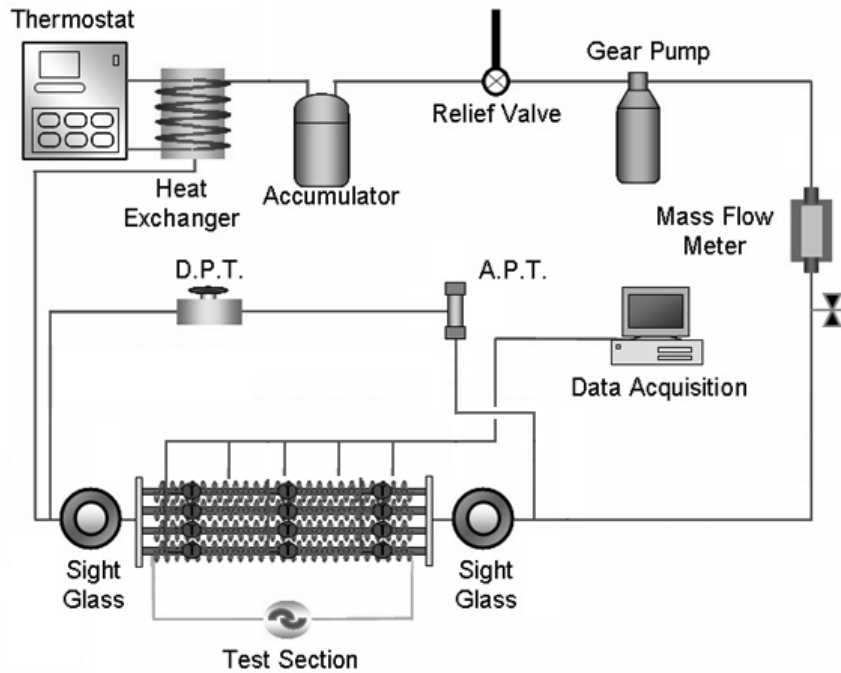


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

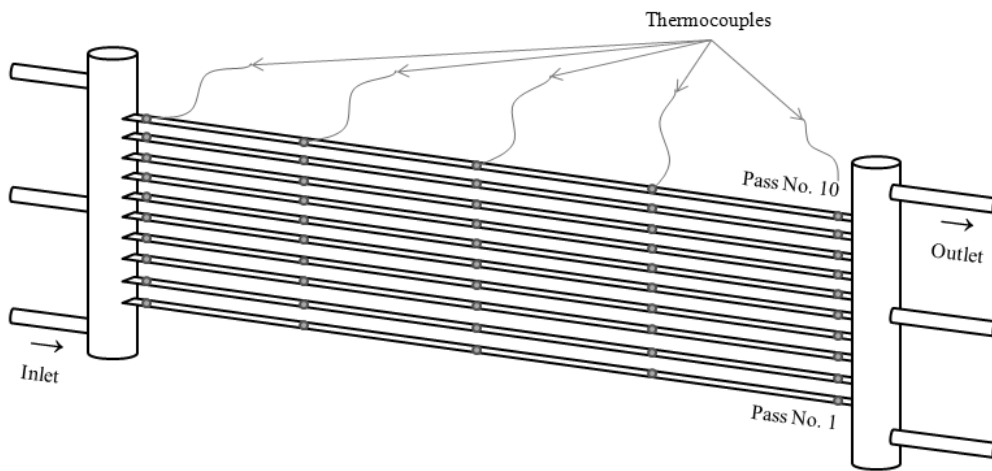


Fig. 2 Schematic diagram of test section.

증발시키며 분배특성을 확인하였다. 헤더 내의 냉매가 중력의 영향을 받기 때문에 상부 채널로 갈수록 냉매의 분배가 잘 이루어지지 않는 것이 확인되었다. 이 현상은 냉매의 유량이 적을 때 잘 관찰되었으며, 특히 가장 상부 채널에서 두드러지게 나타났다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig.1은 실험장치의 개략도이다. CO₂는 마그네틱 기어펌프를 통하여 시스템을 순환한다. 액체 상태로 기어펌프를 통과한 이산화탄소는 질량유량계를 통과한다. 증발기 입구와 출구에는 각각 절대압계와 차압계 그리고 2상으로 흐르는 CO₂를 관찰하기 위해 사이트 글래스를 설치하였다. 증발기 입구부의 압력은 포화상태의 냉매 포화온도를 구하는데 사용되었다.

증발기는 Fig. 2와 같이 10개의 마이크로채널 튜브를 평행하게 연결해 제작하였다. 마이크로채

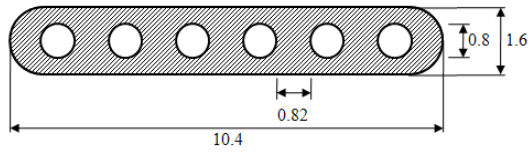


Fig. 3 Cross section of the micro-channel tube. (unit: mm)

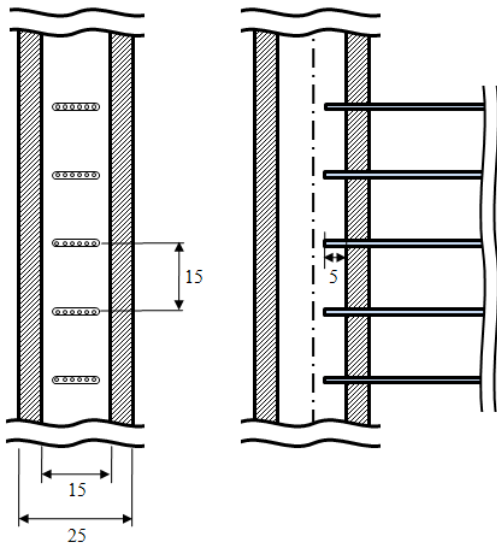


Fig. 4 Cross section of the header. (unit: mm)

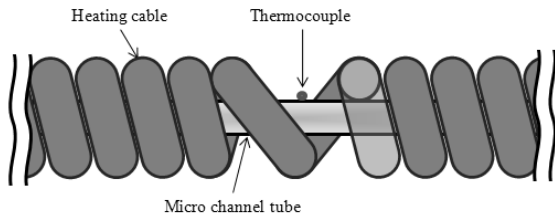


Fig. 5 Arrangement of the heating wire and the thermocouple.

널 튜브의 길이는 1000mm이고 직경 0.8mm인 원형채널 6개가 있다(Fig.3). 각 튜브 간 거리는 15mm 이고, Fig. 4와 같이 헤더 내부로 5mm를 집어넣어 브레이징 용접을 했다. 증발기 표면에는 242mm의 일정한 간격(6, 648, 490, 732, 974mm)으로 T타입의 열전대를 5개씩 부착해 온도를 측정하였다. 증발기는 Fig. 5와 같이 열선을 감아 가열해주었다. 증발기를 통과하며 열을 받은 CO₂는 항온조와 연결된 열교환기를 지나면서 냉각되고, 수액기를 통과하며 순수한 액체상태만이 기어펌프로 유입된다.

2.2 실험결과 처리 방법

증발기를 통해 CO₂로 전해지는 열유속은 열선에 가해지는 전류량을 통해 계산하였다

$$q'' = \frac{I^2 R}{A}$$

증발기 내부의 CO₂ 온도는 포화상태임을 고려하여 압력 값에 따른 물성치를 통해 구했다. 증발기 내부의 압력은 입구부와의 거리에 따라 선형으로 줄어든다고 가정하였다. CO₂의 물성치는 REFPROP version6.01의 값을 적용하였다.

$$P_{sat} = P_{sat.in} - \Delta P \frac{l}{L}$$

$$T_{sat} = f(P_{sat})$$

열전대를 통해 측정된 증발기 외벽의 온도와 증발기 내부 CO₂의 온도 차이를 비교하였다. 이 값은 증발기 내부를 흐르는 냉매량을 간접적으로 보여준다.

$$\Delta T = T_{wo} - T_{sat}$$

증발기는 Fig. 5와 같이 튜브를 감고있는 열선을 통해 가열되어 내부 CO₂를 증발시킨다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 6은 냉매 유량의 차이(160, 200 400kg/m²s)에 따른 증발기 외벽의 온도와 냉매 간 온도 차이를 보여준다. 열유속은 모두 동일하게 8kW/m²의 값으로 설정해 주었고, 냉매의 증발온도는 5C로 고정시켰다. 결과 값의 유사성 때문에 2번, 3번, 4번 그리고 6번 튜브의 데이터는 포함시키지 않았다. 유량의 차이가 많게는 2.5배까지 주어졌지만, 10번 패스를 제외한 나머지 채널에서는 모두 유사한 값의 데이터가 얻어졌다. 유량이 200kg/m²s이하로 줄어들면서 10번 튜브의 뒷부분부터(732mm, 974mm) 온도가 상승하는 것을 관찰할 수 있었다. 이 현상은 가장 상부튜브로

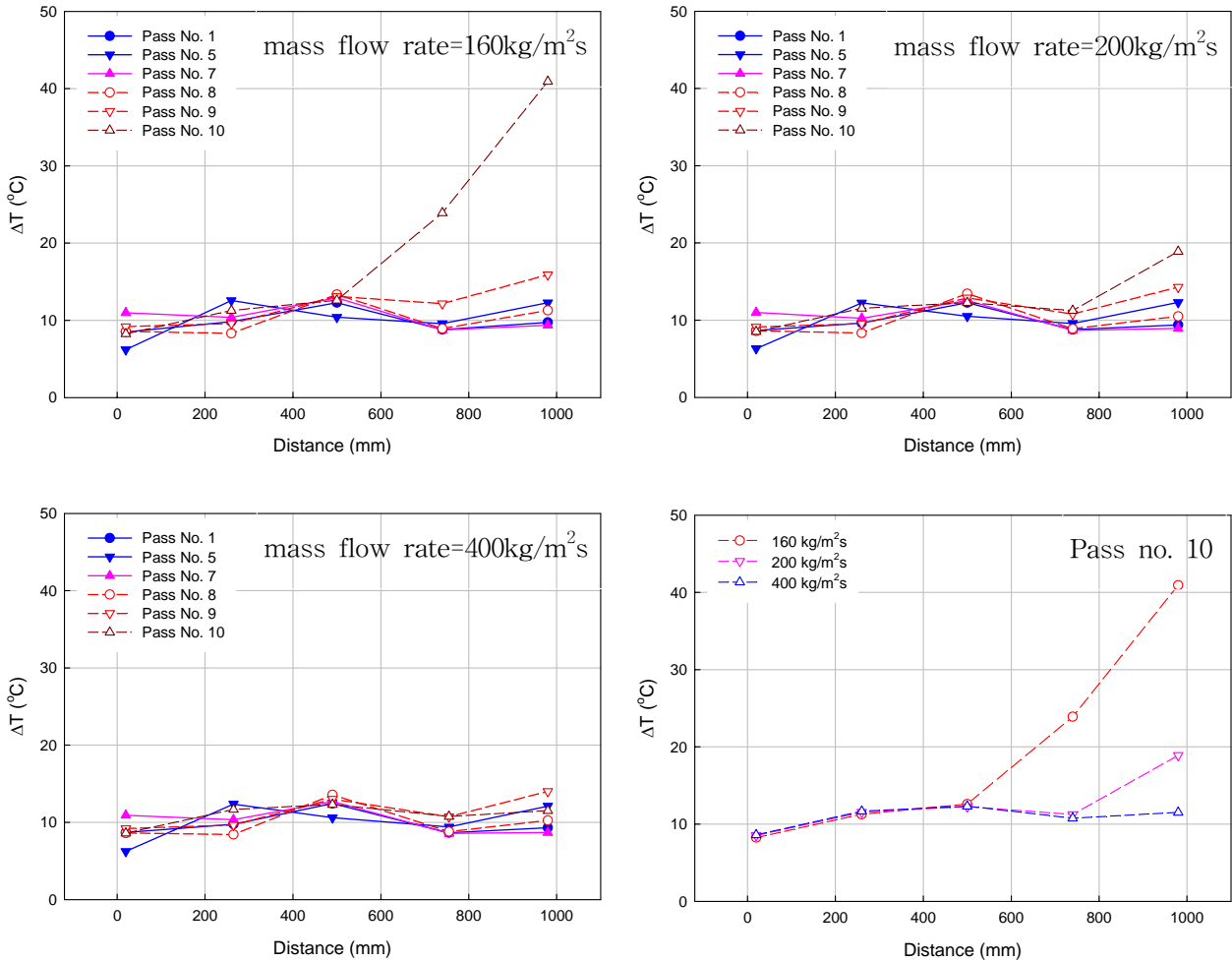


Fig. 6 Effect of mass flux on temperature difference ($T=5^{\circ}\text{C}$, $q''=8\text{kW/m}^2$)

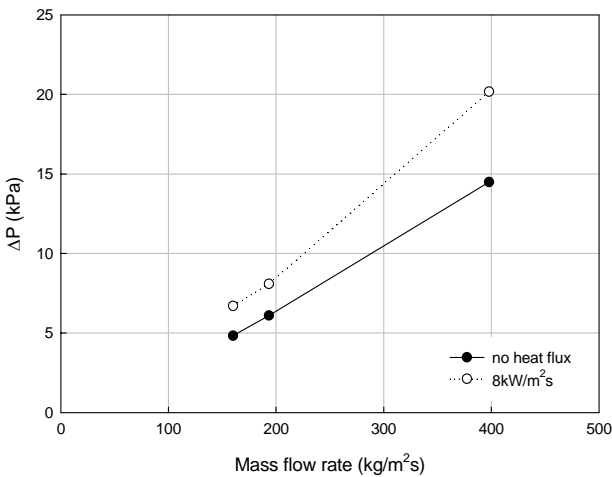


Fig. 7 Effect of mass flux on pressure drop ($T=5^{\circ}\text{C}$, $q''=8\text{kW/m}^2$)

들어가는 냉매의 양이 다른 튜브로 들어가는 양보다 적다는 것을 의미한다. 이것은 10번 튜브의 값을 유량의 변화에 따라 비교해 보았을 때 확실히 알 수 있다. 냉매 유량의 감소는 직접적으로 그것의 건도를 증가시킨다. 이미 다채널 마이크로 튜브 내에서 냉매 건도의 증가가 열전달 계수의 하락을 가져온다는 것이 실험적으로 관찰되었다⁽⁴⁾. 상부 튜브로 냉매가 적게 유입되는 것은 헤더 내에 존재하는 냉매 증기가 중력에 의해 헤더 윗부분에 몰려 있기 때문으로 생각된다.

Fig 7은 증발기 입구부와 출구부 사이의 압력 차이를 보여준다. 압력 차이 값은 열유속을 주었을 경우와 주지 않았을 경우 둘 다 유량에 비례하는 모습을 보여준다. 열유속을 8kW/m^2 로 주었을 경우 차압 값은 열유속을 주지 않았을 때보다 30% 가량 증가했다.

4. 결론

평행류형 마이크로 채널 CO₂증발기에서 냉매 분배에 관한 연구를 수행하였다. 다음의 결론이 실험결과로부터 얻어졌다.

(1) 가장 상부에 위치한 튜브에서는 다른 튜브에 비해 유입되는 냉매량이 적어 튜브 외벽 온도가 급격히 증가하는 현상 (드라이 아웃)이 나타났다.

(2) 모든 채널은 입구에서 중간위치까지 냉매 유량의 변화와 상관없이 거의 비슷한 외벽온도를 유지한다.

(3) 평행류형 마이크로 채널 CO₂ 증발기에서 냉매의 압력차는 열유속이 가해졌을 때 증가하는 모습을 보였고, 열유속의 유무에 상관없이 냉매 유량에 선형으로 비례하는 모습을 보인다.

후 기

본 연구는 한국 지식경제부의 지원을 받아 수행되었으며(No. 00014863: CO₂를 이용한 냉난방 및 급탕시스템용 열교환기의 개발) 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Tushar Kulkarni, Clark W. Bullard, Keumnam Cho, 2004, Header design tradeoffs in microchannel evaporators, Applied Thermal Engineering, Vol. 24, pp 759-776.
2. Honggi Cho and Keumnam Cho, 2007, Performance comparison of microchannel evaporators with refrigerant R-22, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 21, pp. 1926-1934.
3. Rin Yun, Yongchan Kim, Min Soo Kim, 2005, Convective boiling heat transfer characteristics of CO₂ in microchannels, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 48, pp. 235-242.
4. Siyoung Jeong, Dongho Park, 2007, Evaporating heat transfer and pressure drop of CO₂ in a multi-channel micro-tube, Submitted to the 22nd IIR international congress of refrigeration, Beijing, China, August 21-26.
5. J. Pettersen, A. Hafner and G. Skaugen, 1998, Development of compact heat exchangers for CO₂ air-conditioning systems, International Journal of Refrigeration, Vol. 21 No. 3 pp. 180-193.