

헬리컬코일형 CO₂ 가스쿨러의 열전달과 압력강하

경 남 수⁺ · 유 태 근⁺⁺ · 손 창 효⁺⁺⁺ · 오 후 규⁺⁺⁺⁺

Heat Transfer and Pressure Drop of CO₂ Gas Cooler in a Helically Coiled Tube

Nam-Soo Kyoung⁺, Tae-Guen Yu⁺⁺, Chan-Hyo Son⁺⁺⁺, Hoo-Kyu Oh⁺⁺⁺⁺

Abstract : The paper presents the heat transfer characteristics during cooling process of carbon dioxide(CO₂) in a helically coiled tube. The main components of the apparatus consist of a receiver, a variable speed pump, a mass flowmeter, a pre-heater, a gas cooler(test section) and an isothermal tank. The test section with the inner diameter 4.55 [mm] is a tube in tube type heat exchanger with refrigerant flowing in the inner tube and water flowing in the annulus. The main results were summarized as follows : The heat transfer coefficient increases with respect to the decrease of the gas cooler pressure in a supercritical region and the increase of the refrigerant mass flux. The pressure drop decreases in increases of the gas cooler pressure and increases with respect to increases the refrigerant mass flux.

Key words : Carbon dioxide(이산화탄소), Gas cooling(가스냉각), Helically Coiled Tube(헬리컬 코일 관), Heat transfer coefficient(열전달계수)

1. 서론

최근 냉동·공조 및 히트펌프 산업은 오존층 파괴 및 지구온난화 문제로 인해 HCFC계 및 HFC계 냉매의 사용규제라는 매우 급격한 변화를 겪고 있다. 이러한 변화에 대처하기 위해 지구환경에 해가 없는 자연냉매에 대한 관심이 급증하게 되었다. 이들 자연냉매들 중에서 CO₂(이산화탄소)는 우수한 열역학적 물성 및 전달물성으로 인해 현재 가장 유력한 대체냉매로서 많은 연구가 이루어지고 있다.^[1-3] 따라서 본 고에서는 CO₂ 냉매의 헬리컬 코일형 가스쿨러를 사용하여 냉각과정중의 열전달특성을 분석하여 CO₂ 가스쿨러의 설계자료를 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 우선 CO₂냉매는 액상으로 수액기에 충전된 후, 냉매펌프를 지나 질량유량계로 들어가고, 질량유량계에서 유량이 측정된 후, 예열기를 통과하면서 전기히터에 의해 가열되어 압력과 온도가 초임계 상태로 된다. 예열기에서 나온 냉매는 시험부인 헬리컬 코일형 가스쿨러로 유입되도록 구성되어 있다. 그리고 초임계 상태의 냉매를 냉각시키기 위해 냉각수가 시험부 내관과 외관사이의

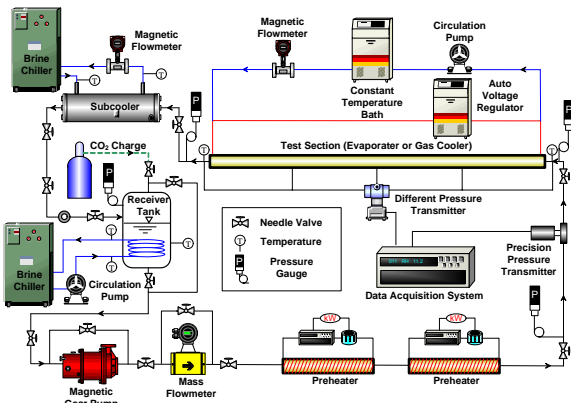


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

환상공간으로 냉매와 대향류로 흐르며 냉각수 유량계에서 일정하게 조절된다.

Fig. 2는 시험부인 헬리컬 코일형 가스쿨러의 상세도를 나타낸 것이다. 시험부는 내관에 냉매가 흐르고 외관에 냉각수가 흐르는 이중관식 대향류 열교환기이다. 내관의 내경은 4.55 [mm], 외경은 6.35 [mm], 반경 42 [mm], 길이는 10,000[mm]의 동관으로 제작하였으며 외관은 내경 55 [mm]인 PVC관으로 제작되었다. 그리고 각 시험부는 입구에서 1000 [mm]씩 등간격으로 10개 구간으로 나누어져 있으며 각 구간마다 냉매, 관벽, 냉각수 온도 및 차압을 측정할 수 있도록 구성하였다.

초임계영역에서의 CO₂ 냉각 열전달 실험은 냉매의 질량유속을 200~600 [kg/m²s]이고, 입구압력을 7.5~10.0 [MPa]사이에서 변화키면서 실험하였다.

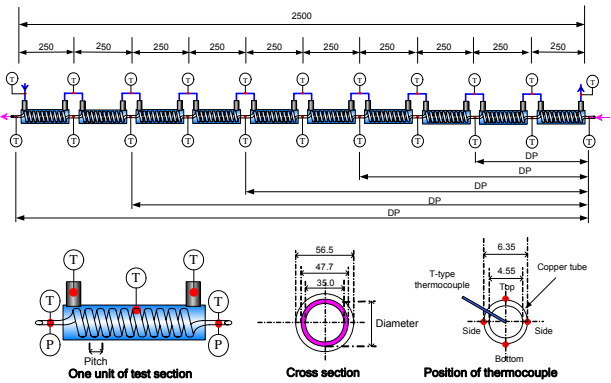


Fig. 2 Details of the test section.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압력변화에 따른 열전달계수

Fig. 3은 일정한 질량유속($G_{re}=400$ [kg/m²s])에서 CO₂의 냉각 압력변화에 따른 열전달계수를 가스쿨러내의 온도변화에 따라 나타낸 것이다. 그림에서와 같이, 질량유속이 동일한 경우, 가스쿨러 입구부분에서는 냉매 온도변화에 따른 비열차이가 작

+ 경남수(부경대학교 냉동공조학과), E-mail: namsucom@mail1.pknu.ac.kr, Tel: 051)621-6801

++ 유태근, 부경대학교 냉동공조학과

+++ 손창효, 부경대학교 냉동공조학과

++++ 오후규, 부경대학교 냉동공조학과

으므로 열전달계수의 차이가 크지 않다. 그러나 가스쿨러의 중간부에서는 즉, 유사임계 온도부근에서는 냉매 온도변화에 따른 비열 차이가 급격히 변하므로 국소 열전달계수는 크게 증가하다가 감소하였다. 그리고 액단상 영역인 가스쿨러의 후반부에서 비열 차이가 상당히 작으므로 열전달계수의 차이는 작아진다.

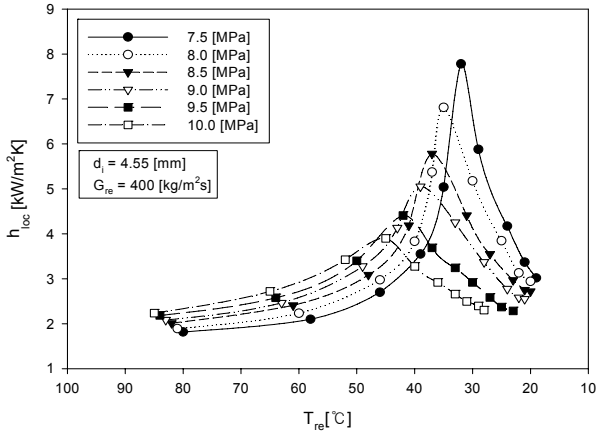


Fig. 3 Variation of heat transfer coefficient with respect to gas cooling pressure.

3.2 질량유속변화에 따른 열전달계수

Fig. 4는 가스쿨러 입구압력 7.5 [MPa], 질량유속이 200~600 [kg/m²s]인 범위내에서 질량유속에 따른 열전달계수를 가스쿨러내 온도변화에 따라 나타낸 것이다. 그림에서와 같이, 일정한 압력하에서 질량유속이 증가할수록 CO₂의 국소 열전달계수는 증가하였다. 이는 질량유속이 증가할수록 CO₂의 Reynolds수가 증가하여 열전달이 향상되기 때문이다. 또한 국소 열전달계수는 압력과 질량유속에 관계없이 항상 가임계 온도에서 최대값을 가진다. 이는 CO₂의 열물성치 변화가 이 영역에서 가장 크기 때문이다.

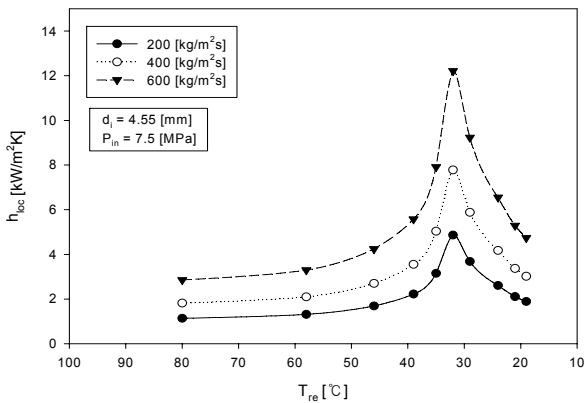


Fig. 4 Variation of heat transfer coefficient with respect to mass fluxes.

3.3 압력강하

Fig. 5은 가스쿨러의 입구압력이 7.5~10.0 [MPa]이고 질량유속이 200~600 [kg/m²s]인 범위내에서 실험으로 측정된 압력

강하를 질량유속 변화에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 동일한 질량유속에서 가스쿨러 입구압력이 증가할수록 압력강하가 감소하는 경향으로 나타났다. 또한 동일한 가스쿨러 압력하에서 질량유속이 증가할수록 압력강하가 증가하는 것으로 나타났다.

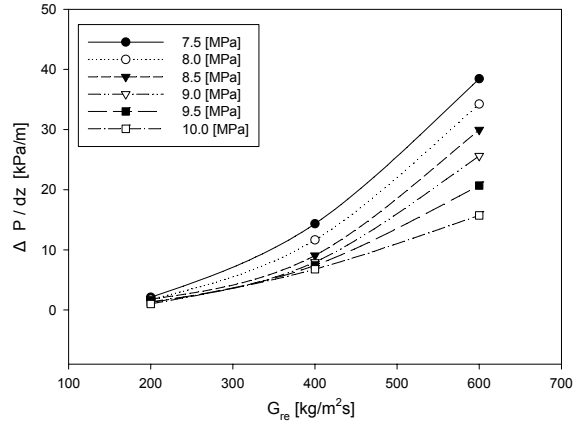


Fig. 5 Variation of the pressuredrop with respect to varying mass flux at different inlet pressure during gas cooling process.

4. 결론

본 연구에서는 헬리컬 코일관내 CO₂의 가스냉각과정에서 열전달계수와 압력강하를 측정하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) CO₂ 냉매가 가스쿨러 내에서 냉각되는 동안 열전달 계수는 서서히 증가하다가 유사임계온도에서 최대값에 도달한 후 감소한다. 가스쿨러 입구압력이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 압력변화에 따른 CO₂의 물성치 변화가 작기 때문이다.

(2) 질량유속의 변화에 따른 열전달 계수는 질량유속이 증가할수록 CO₂의 열전달계수는 증가한다. 이는 질량유속이 증가할수록 관내 CO₂의 Reynolds수가 증가하고, 그 결과 열전달 효과를 상승시키기 때문이다.

(3) 가스쿨러 내 냉각 과정 중에 CO₂ 압력강하는 압력이 증가할수록 감소한다. 또한 질량유속에 따른 압력강하는 질량유속이 증가할수록 압력강하가 증가하였다.

참고문헌

- [1] Lorentzen, G. and Pettersen, J., 1993, "A new, efficient and environmentally benign system for car air-conditioning", International Journal of Refrigeration, Vol.16, No.1, pp. 4-12.
- [2] Pettersen, J., Rieberer, R., and Munkejord, S. T., 2000, "Heat transfer and pressure drop for flow of supercritical tubes", SINTEF Energy Research. G. S. Choi and C. S. Kim, "Linear Stable Systems", IEEE Trans. of Automatic Control, Vol. 33, No. 3, pp. 1234-1245, 1993
- [3] 정대일, 2003, "An Experimental Study on Heat Transfer and Pressure Drop of Carbon Dioxide Flowing in a Helical Coil", 서강대학교, pp. 13-16