

초임계 영역내 CO₂의 열전달에 관한 연구

손 창 효[†], 이 동 건^{***}, 오 후 규^{***}, 정 시 영^{**}, 김 영 룰^{*}

[†]부경대학교 냉동공학과, ^{***}부경대학교 냉동공학과, ^{**}서강대학교 기계공학과, ^{*}한국생산기술 연구원

Study on Heat Transfer of CO₂ in a Transcritical region

Chang-Hyo Son[†], Dong-Gun Lee^{***}, Hoo-Kyu Oh^{***}, Si Young Jeong^{**}, Young-Lyoul Kim^{*}

^{***}Department of Refrigeration Engineering, Pukyong University, Busan 608-739, Korea

^{**}Department of Mechanical Engineering, Sogang University, Seoul 121-742, Korea

^{*}Cleaner production technology center, KITECH, Chonan 330-825, Korea

요 약

오존층 파괴 및 지구 온난화 문제가 대두된 이후, 온수/급탕 및 난방시스템에 이용될 프레온냉매의 대체냉매로 자연친화적이며, 급탕시스템에 유리한 열역학적 물성을 갖고 있는 이산화탄소(CO₂, R-744)가 주목받기 시작했다. 그러나, 이산화탄소는 임계압력이 74 bar이고, 임계온도가 31.1 °C로 무척 낮기 때문에, CO₂를 이용한 냉난방시스템에서는 고온열원에서의 방열과정이 임계점 이상에서 일어나고, 저온열원에서의 증발과정은 임계점 이하에서 일어나게 되어 기존의 증기압축기 냉방시스템과는 다른 특징을 가지게 된다. 즉, CO₂를 이용한 냉방시스템용 방열기에서의 압력은 80-130 bar 정도로 매우 높으며, 기존 시스템의 방열기와는 달리 상변화 과정이 없으며, 임계점 근처에서는 열전달 물성치들이 크게 변화하게 된다. 이와 같이 CO₂를 이용한 시스템의 방열기의 운전조건은 기존 시스템의 방열기와 큰 차이가 있으므로 안정성, 효율성 및 내구성 등에 세심한 주의가 요구되며, 이러한 초임계 상태에서의 CO₂의 특성을 고려한 방열기의 설계 및 제작 기술 개발이 필요하다. 따라서, 본 연구는 이의 해결을 위해서 CO₂의 초임계 가스 냉각과정의 특성을 실험 및 해석을 통하여 파악하는 것이며, 동시에 CO₂의 원관내에서의 초임계 가스 냉각과정에 대한 열전달 특성을 규명하는 것이다.

실험장치는 냉매 순환루프와 냉각수 순환루프로 구성되어 있다. 냉매는 수액기에서 액상으로 충전된 후 구동원인 냉매펌프에 의해 전자식 질량유량계로 들어간다. 질량유량계에서 유량이 측정된 냉매액은 전기 히터에 의해 가열되는 증발기로 흡입되어 온도와 압력이 초임계 상태로 된다. 증발기를 나온 냉매 증기는 시험부인 가스쿨러로 유입되도록 구성되어 있다. 또한, 초임계 상태인 냉매를 냉각시키기 위한 냉각수는 냉각수 유량계에서 일정유량으로 조절되어 내관과 외관사이의 환상공간으로 냉매의 흐름과 반대방향으로 흐르게 하였다.

내경 7.75 mm인 스테인레스 관으로 이중관식 열교환기를 제작하여 초임계 영역내 CO₂의 열전달과 압력강하에 대해서 실험결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 초임계 영역내 CO₂의 마찰압력강하는 질량유속이 증가할수록 증가하고, 완전히 발달된 층류와 난류 액단상에 적용하는 Blasius 상관식과 잘 일치함을 보였다.

(2) CO₂의 온도가 높은 가스쿨러 전반부에서는 압력의 변화에 따른 물성치 차이가 거의 없으므로 열전달 계수의 차이가 거의 나타나지 않는다. 가스가 냉각되어 임계온도 부근에 접근하면 압력 변화에 따른 물성치 차이로 인해서 열전달 계수의 차이가 크게 나타난다.

(3) 동일한 가스쿨러 입구압력에서 평균 열전달 계수는 질량유속이 증가할수록 증가하였다. 특히, 가임계 영역에서 가장 두드러지는 증가를 보였다.

(4) 가스가 냉각됨에 따라 열전달 계수가 증가하다가 임계점을 지나면서 감소하는 경향으로 나타났고, 전반적으로 기존 상관식들의 예측값은 실험으로 계산한 값보다 낮게 나타났다. Gnielinski 상관식으로 예측한 값과 실험값이 가장 좋은 일치를 보였다.