

냉난방 시스템계 폐열 회수용 3중관 열교환기 특성에 관한 실험적 연구

이 광 배, 이 호 생, 문 춘 근⁺, 김 재 돌⁺⁺, 윤 정 인⁺⁺⁺

A Experimental Study on the Characteristics of Waste Heat Recovery Type Triple Heat Exchanger in the Cooling and Heating Systems

Kwang-Bae Lee, Ho-Saeng Lee, Chun-Geun Moon⁺, Jae-Dol Kim⁺⁺, Jung-In Yoon⁺⁺⁺

Abstract : This study is performed to develop a tripple-tube exchanger which can improve the system efficiency. Three different tube diameters are compacted by one body(tripple-tube) to recover waste heat from heat exchanging among the fluids. With this, the tripple-tube shows higher cooling capacity than the double-tube after comparing between those two systems. The results of this study are basic data to design the optimum tripple-tube heat exchanger.

Key words : Cooling capacity(냉방 능력), Triple heat exchanger(3중관 열교환기), Waste heat(폐열)

기호설명

Q_e : Cooling capacity, kcal/h
 $C_{p,e}$: Heat source water specific heat, kcal/kg-K
 m_e : Heat source water flow, kg/h
 $T_{e,in}$: Heat source water inlet temperature, K
 $T_{e,out}$: Heat source water outlet temperature, K

1. 서 론

최근 산업이 발달하고, 다양화됨에 따라 각종 산업 공정이나 건축물, 농축수산 관련 설비 등에서 각종의 목적을 달성하기 위하여 다양한 종류의 유체가 다양한 온도범위를 가지고 배관을 통하여 공급되거나 배출되고 있다. 그러나 상대적으로 각종 건물이나 구조

물들이 고층화 및 밀집화 됨에 따라 각종 열원기들의 설치 공간의 확보가 어려워 필요 장소에 필요로 하는 각종 유체(공기, 가스, 물, 기름, 증기 등)들을 이송시키는 배관의 길이가 다양하게 변화되고, 일반적으로 길어지고 있다.^[1-2] 또한, 각종 정보통신 관련 산업의 발전에 힘입어 이들에 관련된 각종 시설들도 급속히 증가하여 건축물의 미관 훼손에 큰 문제를 야기시키고 있다.^[3-4]

이와 같은 경우 각 분야의 사용 목적에 따라 다양한 종류의 유체를 환경과 재질을 달리하여 일체화시켜 콤팩트화 함으로서 배관의 기능과 동시에 유체가 가지고 있는 온도차를 이용하여 열교환을 통해 폐열을 회수할 수 있는 배관 겸용 열교환기의 연구는 각종 산업분야나 건축기계 설비분야 등에서 폭넓게 적용할 수 있고, 에너지 회수 및 설비비 절감 등에 충분한 장점을 가지고 있다.^[5-6]

⁺ 이광배, 이호생, 문춘근, 부경대학교 냉동공조공학과 대학원

⁺⁺ 김재돌, 동명대학 냉동공조과

⁺⁺⁺ 윤정인, 부경대학교 기계공학부, yoongi@pknu.ac.kr, tel) 051)620-1506

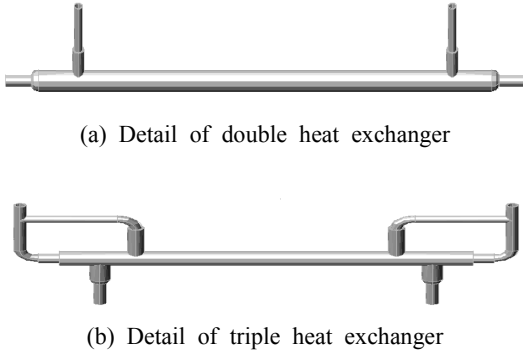


Fig. 1 Schematic diagram of double and triple heat exchanger

따라서, 본 논문은 직경과 재질이 서로 다른 3가지 종류의 관을 3중관 구조로 하여 각종 산업용 공정 분야, 건축물의 냉난방시스템 분야, 각종 급배수 설비 분야 등에 필요한 각종 유체를 이송시키는 배관의 역할과 동시에 또한 상기의 각종 분야에서 방대한 열에너지를 가지고 배출되는 유체들로부터 열교환을 통하여 열에너지 회수가 가능한 배관 겸용 열교환기 연구에 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

실험장치의 주요 부분은 3중관 열교환기로서 장치는 크게 4개의 주요요소는 증발기, 압축기, 응축기,

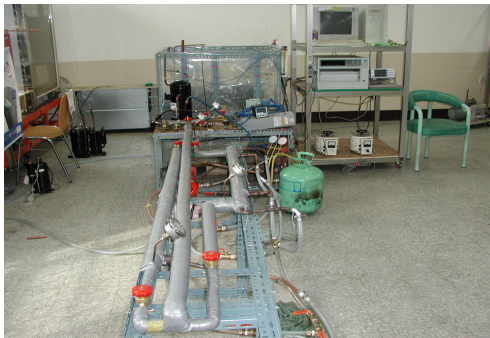
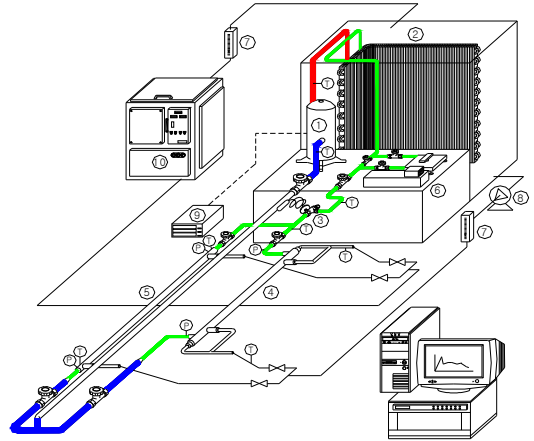


Fig. 2 Experimental apparatus



- | | | |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| ① Compressor | ② Condenser | ③ Capillary tube |
| ④ Triple heat exchanger | ⑤ Double heat exchanger | ⑥ Refrigerant flow meter |
| ⑦ Water flow meter | ⑧ Water pump | ⑨ Power meter |
| ⑩ Thermostatic oven | | |

Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

팽창장치로 구성되는 냉동사이클로 이루어져 있다.

증발기는 본 연구의 대상인 3중관 열교환기와 기존의 2중관 열교환기를 증발기로 하였으며, 3중관 열교환기는 내경 12.08, 19.05, 25.85 mm 3개의 전열관으로 구성되며, 각각의 길이는 1,170, 1,000, 850 mm이다. 이 때, 냉매와 열원수의 유로는 관경이 가장 작은 내부관과 관경이 가장 큰 외부관의 내부로는 열원수가 순환되고, 관경이 중간관으로는 냉매가 역류로 순환되는 구조로 되어 있다. 그리고 3중관과의 비교 실험을 위해 제작된 2중관 열교환기는 내경 19.05, 25.85 mm 2개의 전열관으로 구성되며, 각각 길이는 1,730, 1,610 mm이다. 이때, 관경이 작은 내부관으로는 냉매가 관경이 큰 외부관으로는 열원수가 역류로 순환할 수 있도록 제작되어 있다. Fig. 1은 기존 2중관 및 3중관 열교환기의 개략도이다.

압축기는 스크롤형을 사용하였고, 응축기는 수냉식으로 하여 열량조절이 용이하도록 하였다. 그리고 팽창장치는 모세관을 사용해서 냉매유량을 조절하여 대상으로 한 3중관 열교환기와 2중관 열교환기 내로 순환되는 냉매유량을 동일조건으로 조절하여 성능실험

Table 1. Experimental conditions

| Items | Parameters | Conditions |
|-------------------|---------------------------|------------|
| Refrigerant | Flow rate [kg/h] | 36, 28.8 |
| Heat source water | Flow rate [ℓ /min] | 25 |
| | Temperature [K] | 288 |
| Cooling water | Flow rate, [ℓ /min] | 25 |
| | Temperature, [K] | 283 |

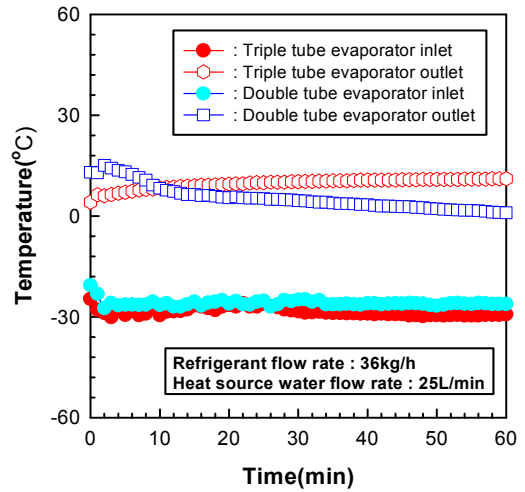
을 실시하였다. 상기 2가지 종류의 열교환기에 있어서 냉매와 열원수의 전열면적은 동일하게 하였으며, 압축기와 응축기 및 팽창장치는 하나의 장치에서 밸브조작을 통하여 비교실험이 가능하도록 제작하였다. 그리고 장치의 각 부분에는 열전대와 압력계를 설치하여 각 조건변화에 따른 냉매, 열원수 및 냉각수의 온도 및 압력을 측정할 수 있도록 하였으며, 압축기의 소요동력은 파워미터를 이용하여 측정하였다. 그리고, 냉매와 열원수 및 냉각수의 유량은 냉매유량계와 수유량계를 필요 요소에 설치하여 측정하였으며, 대상으로 한 2중관 및 3중관 열교환기는 20 mm 아티론 단열재로 단열하여 열출입이 없도록 하였다.

Fig. 2, 3은 본 실험장치와 전체 개략도이다. 압축기, 응축기, 팽창장치, 증발기와 주변기기로 구성된 일반적인 증기 압축식 냉동 사이클이다.

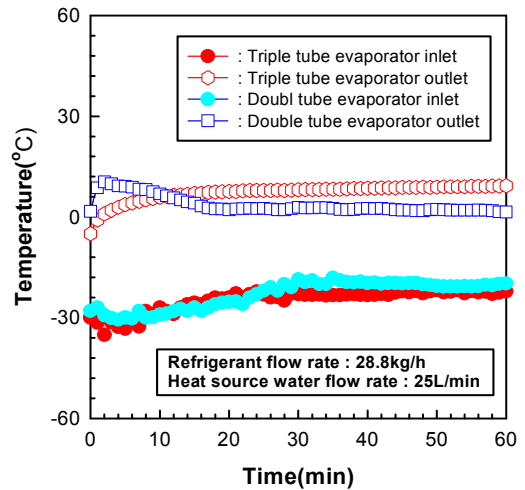
2.2 실험 방법 및 데이터 분석

2.2.1 실험 방법

실험은 냉매 유량변화를 파라미터로 동일조건에서 실시하였다. 먼저, 충분한 시운전 과정을 거친 후에 장치가 안정한 상태에 도달한 후 2중관 열교환기부터 실험을 실시하였으며, 이 과정의 실험이 완료된 후에는 동일조건에서 3중관 열교환기의 성능실험을 실시하였다. 각 실험에 있어서 한 가지 조건을 변화시켰을 때에는 다른 조건들 즉, 냉각수나 열원수, 냉매의 유량이나 온도조건을 일정하게 유지한 상태에서 실시하였다.



(a) Refrigerant flow rate : 36 kg/h

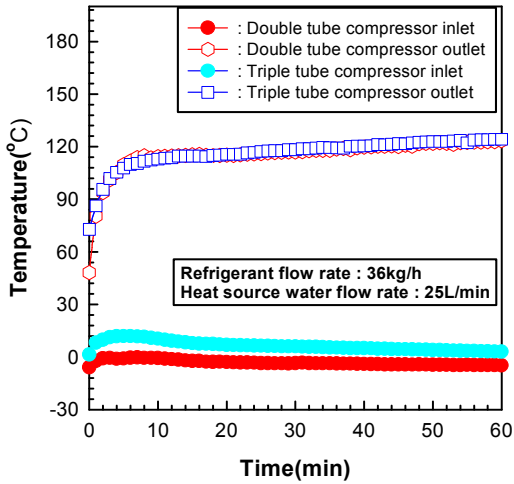


(b) Refrigerant flow rate : 28.8 kg/h

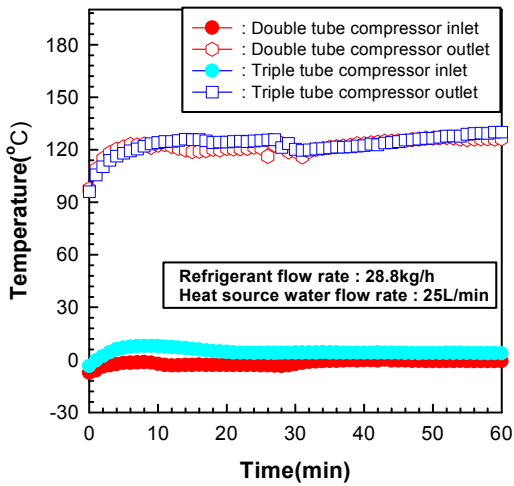
Fig. 4 Variation of evaporator inlet and outlet temperature according to the change of refrigerant flow rate

실험에 있어서 장치내로 순환되는 냉매유량은 팽창장치 입구에 설치된 전자식 냉매유량계로 측정하였으며, 압축기 소요동력은 파워미터로 측정하였다. Table 1은 본 실험조건을 나타낸다.

2.2.2 데이터 분석



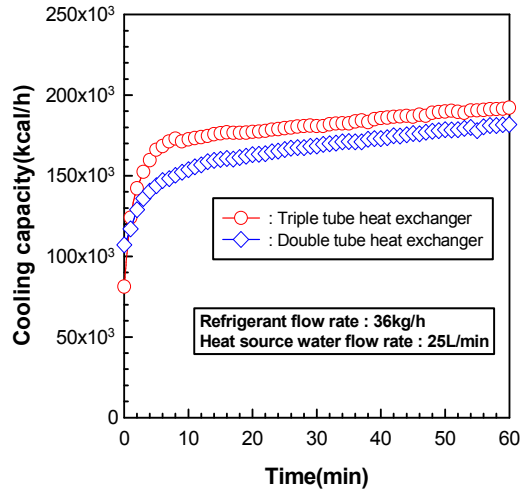
(a) Refrigerant flow rate : 36 kg/h



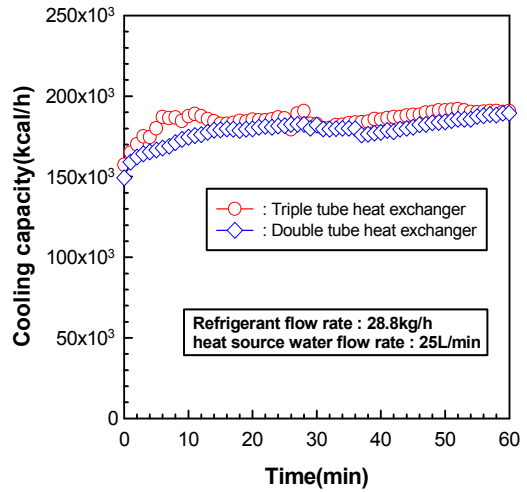
(b) Refrigerant flow rate : 28.8 kg/h

Fig. 5 Variation of compressor inlet and outlet temperature according to the change of refrigerant flow rate

본 연구의 작동유체로 사용되는 R-22의 열물성치 계산은 NIST에서 개발한 냉매 물성 계산 프로그램인 REFPROP(Ver. 6.0)를 이용하였으며, 증발기에서의 냉동능력 Q_e 는 식 (1)와 같이 계산하였다.



(a) Refrigerant flow rate : 36 kg/h



(b) Refrigerant flow rate : 28.8 kg/h

Fig. 6 Variation of cooling capacity according to the change of refrigerant flow rate

$$Q_e = m_e \cdot c_{p,e} \cdot \int_{T_{e,out}}^{T_{e,in}} dt \quad (1)$$

여기서, m_e 는 증발기측 열원수의 유량이며, $T_{e,in}$ 과 $T_{e,out}$ 는 각각 증발기측 열원수의 입구와 출구 온도를

나타낸 것이며, $c_{p,e}$ 는 증발기측 열원수의 비열을 나타낸다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 온도 변화

Fig. 4는 냉매유량 변화에 따른 2중관 및 3중관 열교환기 입출구의 냉매 온도변화를 나타낸 것이다. Fig. 4의 (a), (b)에서 열교환기 입구 냉매온도는 거의 동일하게 유지되지만 출구온도는 3중관의 경우가 더 높게 나타나고 있다.

Fig. 5는 냉매유량변화에 따른 압축기 입·출구의 냉매 온도변화를 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 압축기 출구온도는 열교환기의 종류에 관계없이 거의 일정한 경향을 나타내고 있다. 그러나 입구온도는 3중관의 경우가 더 높게 나타나고 있다. 이와 같은 이유는 3중관의 경우 열교환기 내 열교환량의 증대로 열교환기 출구온도가 높아짐에 따라 압축기 입구온도도 높아지는 것으로 판단된다.

3.2 냉방능력 변화

Fig. 6은 냉매유량 변화에 따른 2중관 및 3중관 열교환기의 냉방능력을 비교한 결과이다. 그림에서와 같이 3중관 열교환기의 경우가 더 큰 냉방능력을 나타내고 있다. 이와 같은 경우는 앞에서 언급한 바와 같이 열교환기 내부에서의 열교환 증대에 따라 2중관에 비해 더 큰 냉방능력을 나타내는 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 냉매유량이 증가할수록 냉방능력의 차이는 더 크게 나타났다.

4. 결 론

에너지 회수 및 설비비 절감 등에 충분한 장점을 가질 수 있는 냉난방 시스템의 폐열 회수용 3중관 열교환기를 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 3중관 열교환기에서 2중관 열교환기에 비해 열교환기 출구온도, 압축기 입구온도가 높게 나타났기 때문에 3중관 열교환기가 2중관 열교환기보다 열교환량이 높게 났으며, 냉방능력도 다소 높게 나타났다.

(2) 3중관 열교환기는 기존의 2중관 열교환기에 비해 설비비 절감은 물론이고 에너지 절약적 관점에서 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] J. Y. Sun and R. J. Shyu, "Waste heat recovery using heat pipe heat exchanger for industrial practices", 5th International Heat pipe Symposium, Melbourne Australia, Section 6, 1996
- [2] C. B. Pranchal, "Fouling Mitigation of Industrial Heat-Exchange equipment", 1995
- [3] R. K. Kays, and A. L. London, "Compact Heat Exchangers", McGraw-Hill Co. New York, 1984
- [4] 김내현, 이윤표, 윤성영, "폐수처리용 액체 유동층 열교환기에 대한 연구", 대한환경공학회, 춘계학술대회, pp. 214-217, 1995
- [5] 한도영, 박관준, "이중관 열교환기를 사용한 물대 공기 열펌프 시스템의 설계와 성능해석", 공기조화 냉동공학회 논문집, 제 9권, 제 4호, pp. 462-471, 1997
- [6] 정한식, 배강열, "이중관 열교환기의 이론과 응용", 냉동공조공학, 제 20권, 제 2호, pp. 37-46, 2001