

증기압축식 냉동장치에서 다중관 열교환기의 성능특성에 관한 실험적 연구

김 재 돌†

(원고접수일 : 2008년 11월 13일, 원고수정일 : 2008년 12월 5일, 심사완료일 : 2008년 12월 16일)

An Experimental Study of the Performance Characteristics on Multiple-tube Heat Exchanger in the Vapor Compression Refrigeration System

Jae-Dol Kim†

Abstract : This paper 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 paper are basic data to design the optimum tripple-tube heat exchanger.

Key words : Cooling capacity(냉방 능력), Double-tube heat exchanger(2중관 열교환기), Multiple-tube heat exchanger(다중관 열교환기), Vapor compression refrigeration system(증기압축식 냉동시스템)

기호 설명

C_p : Specific heat, kJ/kg · °C
 m_e : Heat source water flow rate, kg/h
 Q_e : Cooling capacity, kJ/h
 R_f : Refrigerant flow rate, kg/h
 $T_{e.in}$: Heat source water inlet temperature, °C
 $T_{e.initial}$: Heat source water initial temperature, °C
 $T_{e.out}$: Heat source water outlet temperature, °C

1. 서 론

열교환기(heat exchanger)란 일반적으로 서로 온도가 다르고, 고체벽으로 분리된 두 유체들 사이의 열교환을 수행하는 장치를 말하며, 열교환 프로세스는 많은 공업적 응용분야에서 발생되고 있고, 냉난방장치, 공기조화장치, 동력발생장치, 폐열회수장치 및 각종 화학공정장치 등에서 찾아볼 수 있다. 이와 같이 열교환기는 다양한 분야에 적용되고 있고, 적용되는 장치들에 있어서도 중요한 역할을 하고 있다. 따라서, 지금까지 여러 가지 형태들의 열교환기에 관련된 연구들이 끊임없이 진행되고 있고, 열교환기의 효율을 높이기 위한 다양한 연구들

† 교신저자(동명대학교 공과대학 냉동공조공학과, E-mail : kjd@tu.ac.kr, Tel : 051)629-1682)

도 계속되고 있다. 특히, 최근에는 산업이 발달하고, 다양화됨에 따라 각종 산업공정이나 건축물 등의 관련 설비에서 다양한 목적을 달성하기 위하여 다양한 종류들의 유체가 다양한 온도범위를 가지고 배관을 통하여 공급되거나 배출되고 있어 이들 미활용 에너지 자원의 회수를 위해서도 많은 종류의 열교환기가 개발되고 있다.⁽¹⁾⁻⁽³⁾

본 논문은 직경이 서로 다른 3가지 종류의 전열관을 3중관 구조로 제작하여 기존의 가장 간단하면서 일반적으로 많이 사용되고 있는 2중관 구조의 열교환기와 같이 증기압축식 냉동장치에 설치하여 두 열교환기의 성능특성을 비교 분석하여 열교환기의 콤팩트화 및 효율향상에 관한 기초 자료를 확보하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 열교환기 유형

열교환기의 형태는 크게 전형적으로 유동배열과 구조에 따라 분류된다. 가장 간단한 열교환기는 서로의 관경이 다른 2가지 종류의 전열관을 2중관 구조로 하여 같은 방향인 평행유동(parallel-flow) 배열과 반대 방향인 대향 유동(counter flow) 배열로 고온의 유체와 저온의 유체가 흐르는 2중관 열교환기이다.

동일한 형태로 3중관 열교환기의 경우도 서로 다른 관경을 가진 3가지 종류의 전열관을 3중관 구조로 하여 같은 방향과 반대 방향인 고온 및 저온의 유체가 유동하면서 열교환을 수행할 수 있는 구조를 말한다⁽⁴⁻⁵⁾.

Fig. 1의 (a), (b)는 2중관과 3중관 구조 열교환기의 대향류 유동 흐름의 개략도를 나타내며, Fig. 2는 본 실험에 사용된 2중관 및 3중관 열교환기의 제작 형태를 나타낸다.

2.2 실험장치

본 논문에서 사용된 실험장치는 상기 두가지 종류의 열교환기를 증발기로 한 증기압축식 냉동장치에 대상으로 하였으며, 주요 부분은 압축기, 응축기,

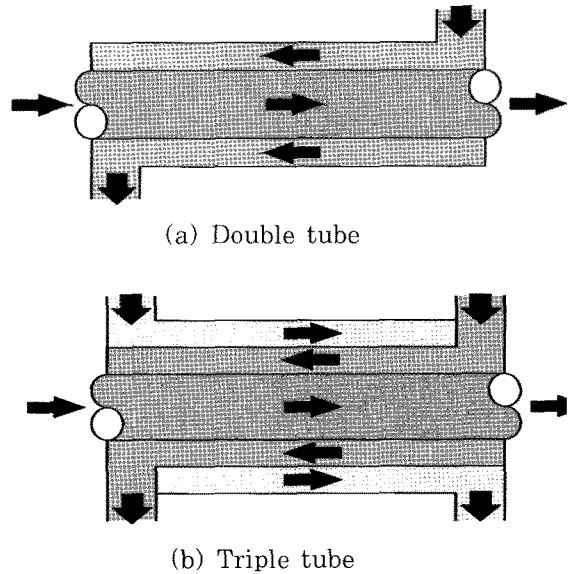


Fig. 1 Flow pattern of double and triple heat exchanger

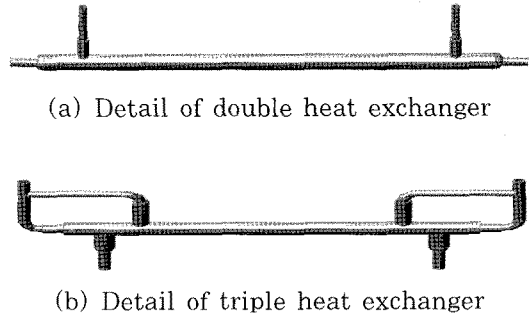


Fig. 2 Schematic diagram of double and triple heat exchanger

팽창장치로 이루어진 냉동사이클로 구성하였다.

3중관 열교환기는 내경 12.08, 19.05, 25.85 mm 3개의 전열관으로 구성하였으며, 각각의 길이는 1170, 1000, 850mm로 제작하였다.

이 때, 냉매와 열원수의 유로는 관경이 가장 작은 내부관과 관경이 가장 큰 외부관의 내부로 열원수가 순환되는 구조이고, 냉매는 관경이 중간관으로 역류로 순환되는 구조로 하였다. 그리고 3중관과의 비교 실험을 위해 제작된 2중관 열교환기는 냉매와 열원수의 접촉 전열면적이 동일하게 내경 19.05, 25.85mm 2개의 전열관으로 각각의 길이

는 1730, 1610mm이다. 이때, 관경이 작은 내부 관으로는 냉매가 관경이 큰 외부관으로는 열원수가 역류로 순환할 수 있도록 하였다.

압축기는 스크롤형을 사용하였고, 응축기는 수냉식으로 하여 열량조절이 용이하도록 하였다. 그리고 팽창장치는 수동식을 설치하여 냉매유량을 조절하였고, 대상으로 한 3중관 열교환기와 2중관 열교환기 내로 순환되는 냉매유량을 동일조건으로 조절하여 성능실험을 실시하였다. 상기 2가지 종류의 열교환기에 있어서 냉매와 열원수의 전열면적은 동일하게 설계하였으며, 압축기와 응축기 및 팽창장치는 하나의 장치에서 밸브조작을 통하여 비교실험이 가능하도록 제작하였다.

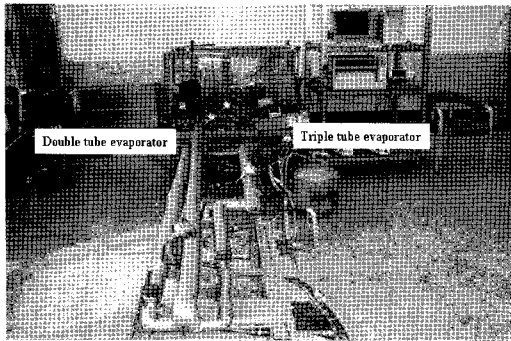


Fig. 3 Experimental apparatus

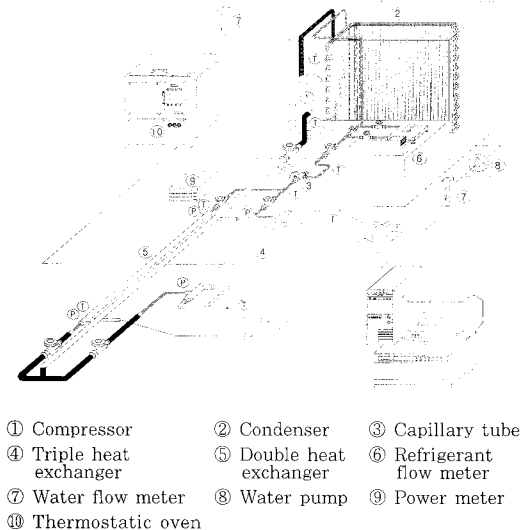


Fig. 4 Schematic diagram of experimental apparatus

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. 냉매와 열원수 및 냉각수의 유량은 냉매 유량계와 수유량계를 필요 요소에 설치하여 측정하였으며, 대상으로 한 2중관 및 3중관 열교환기는 20mm 단열재로 단열하여 외부와의 열 출입이 없도록 하였다.

Fig. 3과 4는 본 연구에 사용된 실험장치의 사진과 전체 개략도를 나타내며, Table 1은 두 종류 열교환기의 사양을 나타낸다.

Table 1 Tubes specifications of heat exchangers

| Type | Tubes | Dimensions |
|-----------------------|-------------|------------------------|
| Double heat exchanger | Inner tube | di=19.05mm L=1730mm |
| | Out tube | di=25.85mm L=1610mm |
| Triple heat exchanger | Inner tube | di=12.08mm L=1170mm |
| | Middle tube | di=19.05mm L=1000mm |
| | Out tube | di=25.85mm L=850mm |

2.3 실험방법 및 조건

실험은 크게 2가지 과정 즉, 냉매 유량변화와 열원수 유량 및 입구온도 변화를 파라미터로 동일조건에서 실시하였다. 먼저, 충분한 시운전과 장치의 이상 유무를 확인한 후 장치 기동에서부터 일정시간에 이르기까지 2중관 열교환기부터 실험을 실시하였으며, 이 과정의 실험이 완료된 후에는 동일조건에서 3중관 열교환기의 성능시험을 실시하였다. 각 실험에 있어서 한 가지 조건을 변화시켰을 때에는 다른 조건들 즉, 냉각수나 열원수, 냉매의 유량이나 온도조건을 일정하게 유지한 상태에서 실시하였다.

실험에 있어서 장치내로 순환되는 냉매유량은 팽창장치 입구에 설치된 전자식 냉매유량계로 측정하

였으며, 압축기 소요동력은 파워미터로 측정하였다. 그리고 항온조에서 응축기와 열교환기 내로 순환하는 냉각수와 열원수의 유량은 각 입구에 수유량계를 설치하여 측정하였고, 장치 각부의 냉매, 열원수 및 냉각수의 온도는 C-C열전대를 사용하여, 다점온도측정 장치의 RS-232C를 이용하여 PC에 저장 처리하였다.

Table 2는 실험조건을 나타내며, 작동유체로 사용되는 R-22의 열물성치 계산은 NIST에서 개발한 냉매 물성 계산 프로그램인 REFPROP (Ver. 6.0)를 이용하였다. 그리고 두 증발기에서의 냉동능력 Q_e 는 식 (1)과 같이 계산하였다⁽⁶⁾⁻⁽⁷⁾.

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

여기서, m_e 는 증발기측 열원수의 유량이며, $T_{e,in}$ 과 $T_{e,out}$ 는 각각 증발기측 열원수의 입구와 출구 온도를 나타내고, $c_{p,e}$ 는 증발기측 열원수의 비열을 나타낸다.

Table 2 Experimental conditions

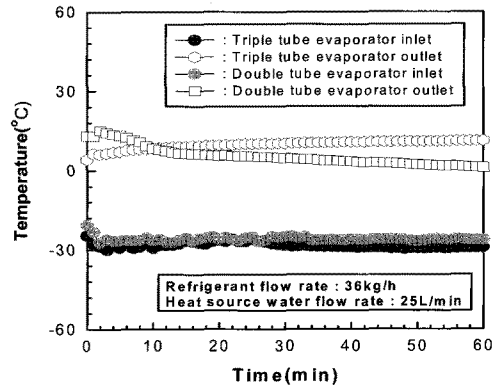
| Items | Parameters | Conditions |
|-------------------|---------------------------|------------|
| Refrigerant | Flow rate, [kg/h] | 36, 28.8 |
| Heat source water | Flow rate, [ℓ/min] | 20, 25 |
| | Initial temperature, [°C] | 15, 17 |
| Cooling water | Flow rate, [ℓ/min] | 30 |
| | Temperature, [°C] | 10 |

3. 실험결과 및 고찰

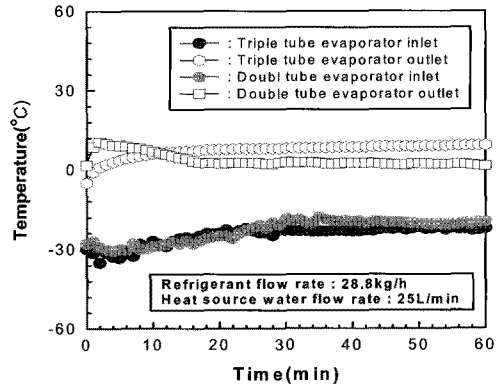
3.1 열교환기 입·출구 냉매 온도변화

Fig. 5와 6은 냉매유량 및 열원수 유량변화에 따른 2중관 및 3중관 열교환기의 냉매 입·출구 온도변화를 나타낸 결과이다. Fig. 4에서 열교환기 입구 냉매온도는 거의 동일하게 유지되지만 출구 온도는 시간이 경과함에 따라 3중관의 경우 (a)와 (b)조건 모두에서 더 높게 나타나고 있다.

이와 같은 결과는 동일한 전열면적에서 냉매와 열원수와의 열전달률 차이에 따른 결과로 3중관의 경우가 더 많은 열교환이 이루어지는 것으로 판단되며, 냉매유량이 많은 경우가 더 큰 차이를 나타내었다.



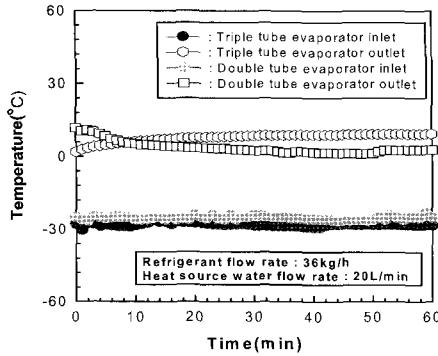
(a) $R_f : 36\text{kg/h}$, $m_e : 25 \ell/\text{min}$



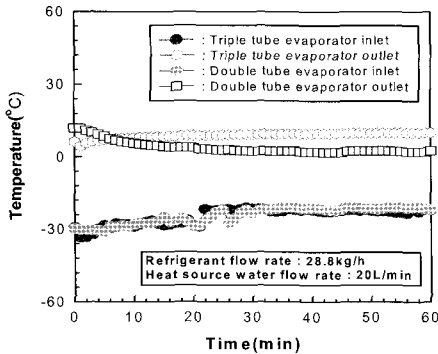
(b) $R_f : 28.8\text{kg/h}$, $m_e : 25 \ell/\text{min}$

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

Fig. 6은 열원수량을 20 ℓ/min으로 감소시켰을 경우, 열교환기 입·출구 냉매 온도변화를 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 이 경우도 3중관의 경우가 2중관의 경우보다 열교환기 출구 냉매온도가 높게 나타나 2중관 보다 더 많은 열교환이 이루어지는 것으로 판단된다.



(a) R_f : 36kg/h, m_e : 20 l/min

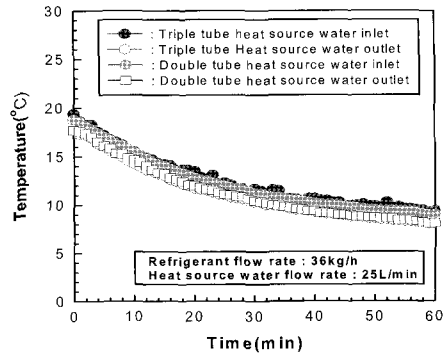


(b) R_f : 28.8kg/h, m_e : 20 l/min

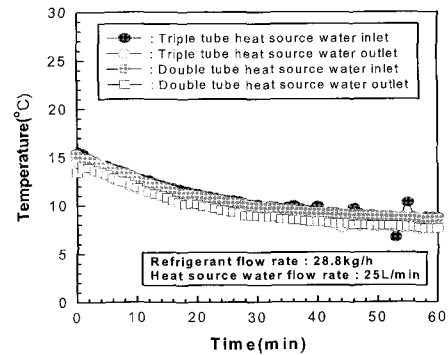
Fig. 6 Variation of evaporator inlet and outlet temperature according to the change of refrigerant flow rate

3.2 열원수 입·출구 온도변화

Fig. 7, 8은 항온조의 작동을 정지한 상태에서 일정량의 열원수를 항온조에 채운 후, 열교환기에서 계속 순환 냉각될 수 있도록 한 경우, 냉매유량 및 열원수 유량변화에 따른 2중관과 3중관 열교환기의 열원수 입·출구 온도변화를 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 입·출구온도 모두 시간이 경과함에 따라 일정한 온도폭을 유지하면서 감소하는 경향을 나타내었다. 2중관과 3중관의 비교에서는 3중관의 입·출구 온도차가 다소 크게 나타났다. 그리고 냉매유량이 많을수록 열원수의 양이 적을수록 온도차는 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 상기 냉매 출구 온도변화와 연계되는 결과로 3중관의 경우가 2중관에 비해 우수한 열교환이 이루어지는 것을 열원수 냉각 과정을 통해서도 확인할 수 있다.

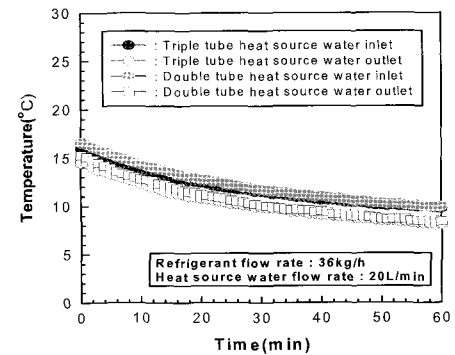


(a) R_f : 36kg/h, m_e : 25 l/min, $T_{e,initial}$: 17.0°C

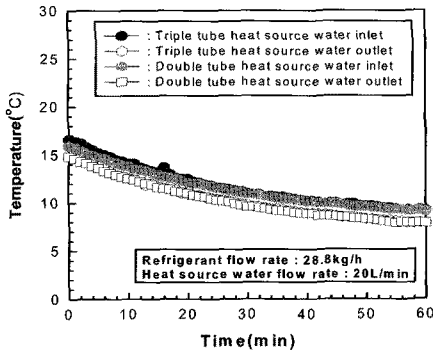


(b) R_f : 28.8kg/h, m_e : 25 l/min, $T_{e,initial}$: 15.0°C

Fig. 7 Variation of heat source water inlet and outlet temperature according to the change of refrigerant flow rate

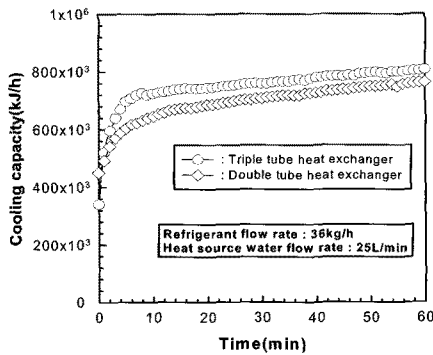


(a) R_f : 36kg/h, m_e : 20 l/min, $T_{e,initial}$: 17.0°C

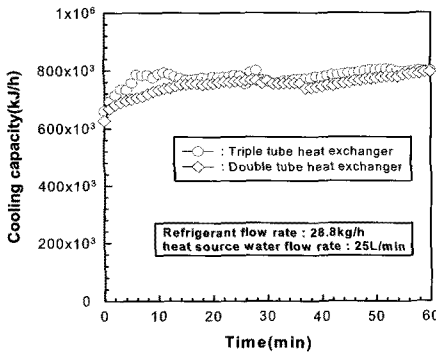


(b) R_f : 28.8kg/h, m_e : 20 ℓ /min, $T_{e,initial}$: 15.0°C

Fig. 8 Variation of heat source water inlet and outlet temperature according to the change of refrigerant flow rate



(a) R_f : 36kg/h, m_e : 25 ℓ /min

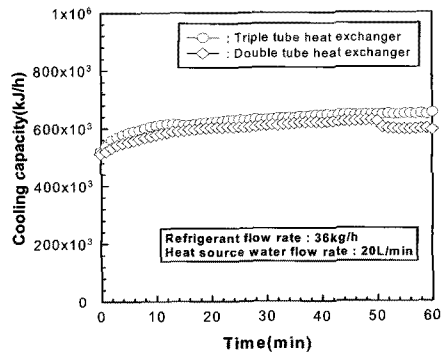


(b) R_f : 28.8kg/h, m_e : 25 ℓ /min

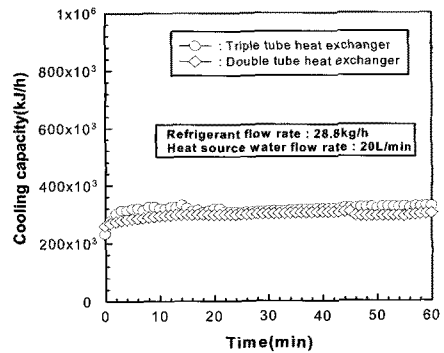
Fig. 9 Variation of cooling capacity according to the change of refrigerant flow rate at heat source water flow rate

3.3 냉동능력의 변화

Fig. 9와 10은 냉매유량 및 열원수 유량변화에 따른 2중관 및 3중관 열교환기의 냉동능력을 비교한 결과이다. 그림에서와 같이 3중관 열교환기의 경우가 더 큰 냉동능력을 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 앞서서도 언급한 바와 같이 열교환기 내부에서의 열교환 증대에 따라 2중관에 비해 3중관이 더 큰 냉동능력을 나타내는 것으로 판단된다. 그리고 냉매유량 및 열원수의 유량이 증가할수록 두 열교환기에서 냉동능력의 차이는 최대 약 15% 정도 나타났다.



(a) R_f : 36kg/h, m_e : 20 ℓ /min



(b) R_f : 28.8kg/h, m_e : 20 ℓ /min

Fig. 10 Variation of cooling capacity according to the change of refrigerant flow rate at heat source water flow rate

4. 결 론

에너지 회수, 장치의 콤팩트화 및 설비비 절감

등에 충분한 장점을 가질 수 있는 3중관 열교환기와 2중관 열교환기를 증기압축식 냉동장치에서 비교 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 3중관 열교환기는 2중관 열교환기에 비해 냉매 및 열원수의 입·출구온도차가 크게 발생되어 2중관 열교환기보다 우수한 열교환이 이루어지는 것으로 확인되었다.

(2) 3중관 열교환기는 2중관 열교환기에 비해 냉동능력도 최대 15%정도 높게 나타났으며, 전열관 길이도 가장 내측관을 기준으로 약 30%이상 콤팩트화가 가능한 것으로 나타났다.

(3) 2중관 열교환기의 경우 2가지 종류 유체의 온도차 열교환이 가능하지만, 3중관 열교환기의 경우에는 3가지 종류의 서로 다른 온도차를 가지는 유체들의 열교환이 가능한 구조로 폐열회수 등 다양한 분야에서 열교환기로 활용 가능할 것으로 판단되며, 2중관 열교환기에 비해 장치의 콤팩트화 및 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] 정한식, 배강열, "이중관 열교환기의 이론과 응용", 냉동공조공학, 제20권, 제2호, pp. 37-46, 2001
- [5] 이광배, 이호생, 문춘근, 김재돌, 윤정인, "냉난방 시스템계 폐열 회수용 3중관 열교환기 특성에 관한 실험적 연구", 한국 마린엔지니어링학회, 전기학술대회, pp. 865, 2005
- [6] 김내현, 이운표, 윤성영, "폐수처리용 액체 유동층 열교환기에 대한 연구", 대한환경공학회, 춘계학술대회, pp. 214-217, 1995
- [7] 한도영, 박관준, "이중관 열교환기를 사용한 물대 공기 열펌프 시스템의 설계와 성능해석", 공기조화 냉동공학회 논문집, 제9권, 제4호, pp. 462-471, 1997

저자 소개



김재돌(金在鎭)

1964년생, 1991년 부산수산대학교 냉동공학과 졸업, 1993년 부산수산대학교 대학원 냉동공조공학과 졸업(공학석사), 1996년 동대학원 졸업(공학박사), 현재 동명대학교 공과대학 냉동공조공학과 조교수.