

신형 알루미늄관의 열전달 특성에 관한 실험적 연구

문춘근* · 윤정인** · 김재철***

Experimental study on the characteristics of heat transfer for new type aluminum tube

C. G. Moon · J. I. Yoon · J. D. Kim

Key words : Heat Transfer Tube(전열관), Coefficient of Performance(성능계수), Characteristics of Heat Transfer(전열특성), Pressure Drop(압력강화), Refrigerator(냉동기)

Abstract

This study investigated heat transfer characteristics of refrigeration system using new type aluminium heat transfer tube for evaporator of refrigeration and air-conditioning comparing with bare tube. From the result of heat transfer experiment form one phase flow using cooled and hot water, about 20% heat transfer performance is superior in case of same quantity of flow and about 4% heat transfer performance if superior in case of same velocity comparing with bare tube. Casing of two phase flow, heat transfer performance of new type aluminum heat transfer tube shows about 50% superior heat transfer performance comparing with bare tube in the same evaporating pressure when using heat transfer tube as evaporator and shows about 47% increase when expressing performance coefficient as the rate of refrigerating capacity and compressing work. However, it can be known that pressure drop in the heat transfer tube is taken higher value of about 18% in case of new type aluminum heat transfer tube. From the above result, new type aluminum heat transfer tube is excellent comparing with bare heat transfer tube using the existing heat exchanger for refrigerator.

1. 서 론

최근에 화석에너지의 남용으로 에너지가 고갈

되어감에 따라 에너지 절약문제가 산업 전 분야에 걸쳐 주요 연구과제로 대두되고 있다. 국내외로 에너지 관련 기기의 다양화와 현대화로 고효율 열교

* 부경대학교 대학원(원고접수일 : 2000년 1월)

** 부경대학교 냉동공조공학과

*** 동명대학 건축기계설비시스템과

환기의 개발이 중요하게 대두되고 있는 현 시점에서, 에너지 절약, 환경 보호 및 국제적 기술보호주의 등의 어려운 여건 속에 열교환기의 설계 기술 및 고효율 열교환기 개발에 대한 연구의 필요성이 부각되었다. 이에 따라 냉동공조 분야에서도 에너지 절약을 위해 기존에 사용되고 있는 냉동 시스템의 콤팩트화, 경량화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.⁽¹⁻⁴⁾ 냉동시스템의 콤팩트화, 경량화는 각 요소기술인 압축기, 응축기, 증발기, 팽창밸브 모두가 종합적으로 연구 되어져야 하며, 이를 위해 다양한 방법으로 연구가 진행되고 있다. 특히 이 요소기기를 중에서 냉동·공조의 목적인 저온을 생성하는 열교환기인 증발기는 냉각능력에 미치는 영향이 크기 때문에 성능향상이 시스템 전체의 고성능화 및 소형화에 기여하는 비중이 매우 크다.^{(5),(6)} 또한 최근의 냉동공조기에 대한 시장환경이 원자재 가격의 상승과 내수보다는 수출로의 전환을 유도하고 있는 긴박한 상황이기 때문에 기기 자체의 저가화가 필연적으로 이루어져야하며 그 중에서도 가격의 상당부분을 차지하고 있는 열교환기의 저가화는 열교환기 개발에 있어서 중요한 요소중 하나이다.

본 연구에 사용된 알루미늄 전열관은 단일 전열관을 좌우로 구획하여 하나의 관내에 한쌍의 구획실을 가지면서 열교환하는 두 유체가 흐르게 하여 열교환 효율을 극대화 시켰으며, 격판에 핀을 가공하여 열교환 면적을 증대시킬 수 있었다. 따라서 본 전열관은 $-50^{\circ}\text{C} \sim -60^{\circ}\text{C}$ 범위에서 채용되고 있는 2원냉동기에서 저단축 응축기와 고단축 증발기용으로 하나의 열교환기로 바로 열교환이 가능하여 열교환량 증대 및 제품의 콤팩트화, 원가 절감 등의 장점이 있다. 초저온 냉동기의 경우 열교환기에서 많은 문제가 발생되는 온도 및 압력에 대한 전열관의 변형도 신형 알루미늄 전열을 사용할 경우 충분히 대응할 수 있을 것이라 생각하며, 기존의 일반적인 냉동기용 열교환기 내에 설치되는 셸(shell)을 설치할 필요가 없으며, 관경이나 길이 조정에 의해 용량조절이 자유롭고 열교환기 자체를 제품의 몸체로 바로 사용할 수 있으므로 시스템의 콤팩트화가 가능하다. 또한 전열관이 알루미늄으로 제작되었기 때문에 열교환기의 중량도 크게

줄일 수 있을 뿐만 아니라 생산원가도 기존 냉동공조기에 주로 사용되고 있는 동관에 비해 저렴하게 낮출 수 있는 이점이 있다.

본 연구에서는 새로 개발된 신형 알루미늄 전열관의 성능 평가를 위해 전열관 성능 평가 실험장치를 제작하여 전열관의 전열 특성 및 시스템에 미치는 영향을 실험적으로 파악하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

냉동기용 열교환기 성능평가 실험장치는 작동매를 열교환기에 공급하는 냉매공급장치와 시험대상인 열교환기로 구성되어 있으며 Fig. 1에 그 간략도를 나타내었다. 냉매공급장치는 압축식 냉동방식으로 압축기(compressor), 응축기(condenser), 팽창밸브(expansion valve) 및 증발기(evaporator)와 액분리기(accumulator), 수액기(receiver), 관찰창(sight glass), 건조여과기(filter-drier) 등의 부속기기, 그리고 온도·압력측정부로 구성되어 있으며 각 기기들은 동관으로 연결되어 있고 단열재로 단열 하여 열 누수를 방지하였다.

응축기 입출구, 팽창밸브 입구, 증발기 입출구, 압축기 입출구, 가스관과 액관 입출구의 압력과 온도를 측정하기 위해 압력계와 T형열전대를 설치하였으며 측정된 온도는 다점 온도 측정장치(HR2500E 60CH)를 통해 PC로 전송하였다. 팽창

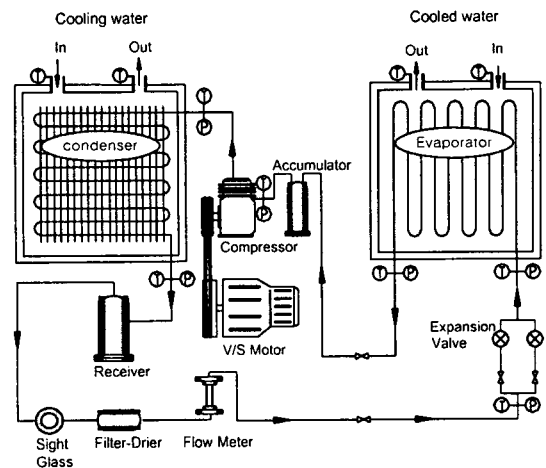


Fig. 1 Schematic diagram of a refrigerator system

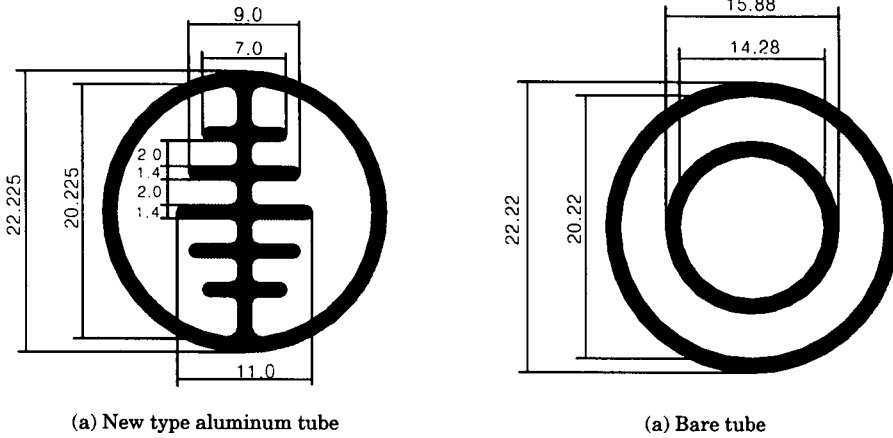


Fig. 2 Close section of the heat transfer tube

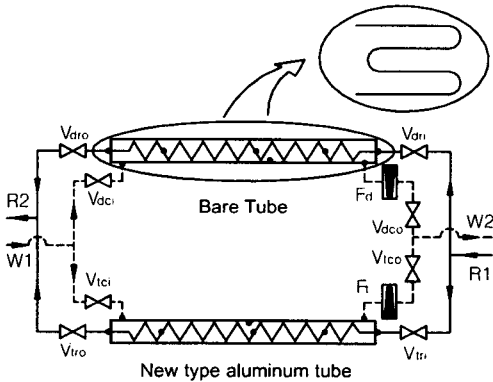


Fig. 3 Schematic diagram of test section

밸브를 통과하는 냉매의 유량을 측정하기 위해 수액기와 액관 사이에 체적식 유량계(0.8~8l/min)를 설치하였다.

압축기는 2실린더, 실린더의 내경 45mm, 피스톤 행정 38mm, 회전수 범위 500~1800rpm이며, 회전수가 1450일 때 토출량이 10.53m³/h인 HCFC-22용 왕복동식 압축기를 사용하였다. 압축기의 구동은 출력 3.7kW(5HP), 회전수 150~1500rpm인 가변모터와 벨트로 연결하여 회전수를 조절할 수 있도록 하였다.

본 실험에서는 Fig. 2(a)와 같은 신형 알루미늄 전열관과 Fig. 2(b)와 같은 기존에 사용되고 있는 평활관을 이용한 이중관형 전열관을 사용하여, Fig. 3과 같은 열교환기 실험대상부분(Test

section)을 구성하여 신형 알루미늄 전열관과 이중관형 전열관의 성능을 비교 분석하였다. 이중관 열교환기는 내관과 외관이 동관으로 구성되어 있으며 내관의 단면적은 $160.157 \times 10^{-6} \text{m}^2$ 이며 외관의 단면적에서 내관의 단면적을 제외한 냉각수 유로의 단면적은 $123.0514 \times 10^{-6} \text{m}^2$ 이다. 동관의 열전도율은 약 320kcal/mh^oC이다. 신형 알루미늄 전열관은 좌우가 대칭된 구조이며 좌우 각각의 단면적은 $121.276 \times 10^{-6} \text{m}^2$ 이다. 관의 재질은 알루미늄으로 이중관과 외형의 크기는 동일하고 알루미늄의 열전도율은 약 195kcal/mh^oC이다.

전열관은 이중관과 신형 알루미늄 전열관 각각 전장길이 4m로 입형 열교환기로 구성하였다. 냉수는 아래방향에서 위 방향으로 흐르게 하였으며 냉매는 위방향에서 아래방향으로 흐르도록 하였다. 이때 냉매와 냉수관의 입출구, 상단, 하단, 중간단에 각각 C-C 열전대를 부착하여 다점온도 측정기로 온도를 측정하여 PC를 통해 온도를 기록할 수 있게 하였으며, 냉매관의 입출구에 압력계 및 차압계를 부착하여 입출구의 온도 및 차압을 측정할 수 있도록 하였다. 유체의 유량은 냉수 출구에 플로트식 수유량계(2~20l/min)를 부착하여 측정할 수 있도록 하였으며 유량은 전열관 전후에 있는 밸브의 개폐로 조절하였으며 냉매 유량은 냉동 사이클 장치에 부착된 HCFC-22용 냉매유량계에서 측정 가능하도록 하였다. 실험장치에 충분한 진공작업을 실시한 후 냉매(HCFC-22)를 충전하

였다. 그리고 장치내 연결배관, 가스관과 액관은 모두 단열하였다. 여기서 전열관의 열교환량은 아래와 같은 식에 의해 구하였다.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

여기서 Q 는 열교환기 열교환량이며 m 은 냉수 및 냉각수 유량, c 는 냉수 및 냉각수의 비열, ΔT 는 냉수 및 냉각수의 입출구 온도차를 각각 나타낸다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 단상유 실험

전열관의 성능을 측정하기 위해 단상유(온수, 냉수)에서의 열교환 성능을 측정하였다. 이중관에 대한 실험의 경우 내관(R1→R2)으로 온수를 흘리고 외관(W1→W2)으로 냉수를 유입시켰다. 이때 신형 전열관 측의 냉수밸브 V_{tci} , V_{tco} 와 온수밸브 V_{tri} , V_{tro} 를 닫아 태극관으로 온수와 냉수의 유입을 막는 한편 이중관 측의 냉수 밸브 V_{dci} , V_{dco} 와 온수밸브 V_{dri} , V_{dro} 의 밸브를 열어 이중관의 관내로 온수를 흘리고 관외로 냉수를 유입시켜 온수와 냉수를 대향류로 열교환을 시켰다. 냉수로는 수돗물을 이용하였으며 이때 온도는 약 22°C로 일정하였다. 온수는 항온조를 이용하여 50°C로 공급하였으며 온수 유량은 항온조에 부착되어 있는 체적식 유량계를 이용하여 측정하였다. 온수 온도 변화는 냉수와 동일한 방법에 의해 측정되어 PC로 기록 저장하였다. 신형 알루미늄 전열관의 전열실험은 밸브조작에 의해 이중관으로의 온수와 냉수의 흐름을 막고 태극관으로 유입시켜 이중관과 동일한 방법으로 유량과 온도를 측정하였다. 단상유 열전달 특성 실험 조건을 Table 1에 나타내었다.

이중관의 온수측 단면적과 태극관의 온수가 흐르는 단면적이 다르므로 실험에서는 이중관과 태극관내로 온수가 동일 유량으로 흐르는 경우와 동

Table 1. Experimental conditions(one phase flow)

Hot water	temperature	50°C
	flow rate	10 l/min, 7.57 l/min
ooling water	temperature	22°C
	flow rate	6~9 l/min

일 유속으로 흐르는 경우의 각각에 대하여 실험을 수행하였다. Fig. 4는 이중관과 신형 전열관에 온수유량을 10l/min으로 동일하게 흐를 때 냉수유량을 6~9l/min로 변화시켜 열교환 특성을 조사한 결과이다.

그림에서와 같이 신형 알루미늄 전열관과 이중관의 경우 냉수 유량의 증가에 따라 열교환량이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 신형 전열관의 경우 이중관에 비해 약 20% 전열성능이 우수한 것을 알 수 있다. 이것은 신형 전열관의 경우 관내의 핀에 의한 전열효율이 향상하고 또한 이중관 내관의 유로 단면적에 비해 신형 전열관의 온수 측 유로 단

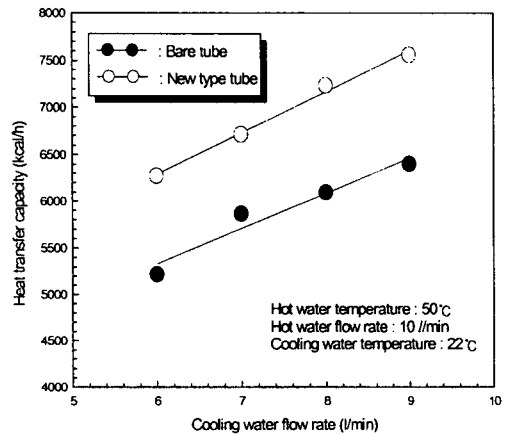


Fig. 4 Influence of cooling water flow rate on the heat transfer capacity(at one phase flow)

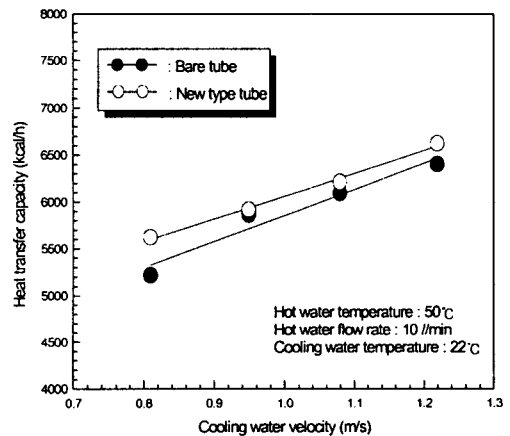


Fig. 5 Influence of cooling water velocity on the heat transfer capacity(at one phase flow)

면적이 작기 때문에 유속의 증가를 동반하여 열전달율을 향상시키는 것이라 생각된다. 그러나 이 경우 압력강하가 이중관에 비해 커지므로 동력손실도 증가할 것이라 생각된다.

위의 경우 신형 전열관과 이중관형 전열관의 온수측 전열 단면적이 다르므로 동일 유량에서 온수의 유속이 달라진다. 따라서 이중관형 전열관의 온수 유량을 10l/min, 신형 전열관의 온수 유량을 7.57l/min로 하여 두 관 모두 온수측 유속을 약 1.04m/s로 동일하게 한 조건에서 냉수 유량변화에 대한 전열량을 측정하였으며 Fig. 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 유속을 동일하게 한 경우 이중관에 비해 신형 알루미늄 전열관의 전열성능이 약 4% 정도 우수하다는 것을 알 수 있으나 이것은 측정 기기 오차 범위 내에 있다.

신형 알루미늄 전열관의 재질이 알루미늄이므로 이중관형 전열관의 동관보다 열전도율이 40%정도 적으며, 이중관의 경우 내측의 온수가 잃는 열량이 전부 외측의 유체로 열이 이동하지만 신형 알루미늄 전열관의 경우 전열관 외부가 단열되어 있다고 하지만 온수측과 냉수측이 직접 접하는 벽면을 제외한 반원부분은 열의 누설이 있을 것이라 예상된다. 또한 핀형상에 의해 관내에서의 유체의 교란을 방해하여 관내 열전달 계수는 감소할 것이라 생각된다. 그러나 신형 알루미늄 전열관의 이러한 단점에도 불구하고 전열관 내의 핀에 의한 전열면적의 확대 및 전열관 간벽이 이어진 부분으로의 열전도에 의한 열이동 등으로 인해 전체 열전달량은 이중관형에 비해 높게 된다는 것을 알 수 있었다.

3.2 증발 전열실험

신형 알루미늄 전열관을 이용한 증발 전열 특성 및 신형 전열관을 증발기로 사용할 경우 냉동 시스템에 미치는 영향을 분석하기 위해 증발기내 증발압력 일정 조건하에 신형 알루미늄관과 이중관형 전열관에 대한 증발전열 실험을 시스템내 냉매 순환량 변화에 따라 수행하였다. 이때 압축기 회전수와 팽창밸브 개도를 조절하여, 증발기 입구 게이지 압력을 5kgf/cm²로 일정하게 유지하고 냉매 유량을 0.7l/min~1.7l/min로 변화시켰으며 구체적 실험 조건은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Evaporating experimental conditions

Items	Standard values
rpm	1020
Refrigerant flow rate	2.8 l/min
Cooled water flow rate	10 l/min
Cooled water inlet temperature	26° C
Cooling water flow rate	6 l/min
Cooling water inlet temperature	12° C

Fig. 6은 증발압이 5kgf/cm²일 때 냉매 유량변화에 따른 냉동능력을 신형 알루미늄 전열관과 이중관에 대하여 나타낸 것이다. 그림에서 냉매 유량이 증가할수록 냉동능력은 이중관과 신형 알루미늄 전열관에서 동일하게 증가하는 것을 알 수 있으며 이중관의 경우 신형 전열관에 비해 동일 냉매유량에 대해 냉동능력이 약 50%증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 신형 전열관과 이중관의 냉매측 전열면적이 신형 전열관의 경우가 크고, 또한 냉수측 유량을 6l/min으로 두 경우 모두 동일하게 하였으므로 앞의 단상유 실험에서 알 수 있는 것과 같이 신형 전열관의 냉수측 열전달율이 이중관에 비해 높다는 것을 알 수 있었다. 따라서 냉수측 열전달을 향상과 냉매측 전열면적의 증가로 신형전열관의 전열량이 이중관에 비해 월등하게 높게 나타난 것이라 생각된다.

그러나 Fig. 7과 같이 동일 냉매 유량에 대해서 압축기 소요동력은 이중관과 신형 전열관이 비슷한 것을 알 수 있으며 응축열량은 Fig. 8과 같이 이

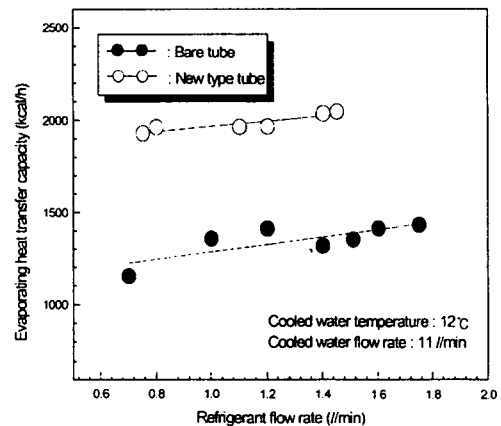


Fig. 6 Influence of refrigerant flow rate on the evaporating heat transfer capacity

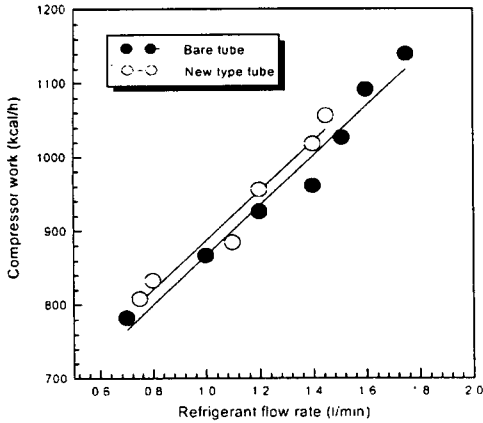


Fig. 7 Influence of refrigerant flow rate on the compressor work input

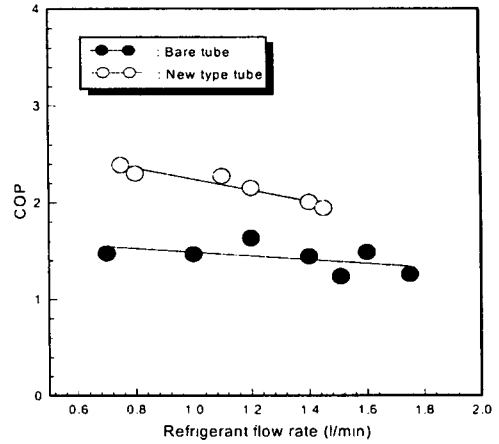


Fig. 9 Influence of refrigerant flow rate on COP at constant evaporating pressure

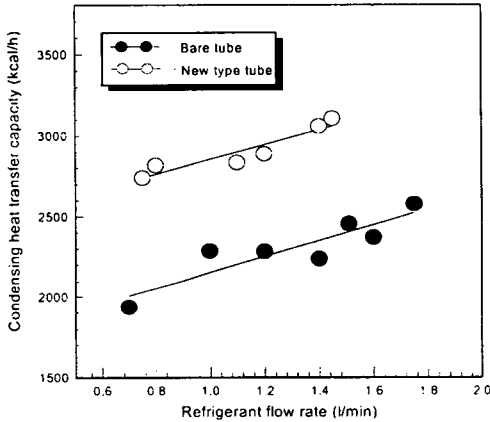


Fig. 8 Influence of refrigerant flow rate on the condensing heat transfer capacity

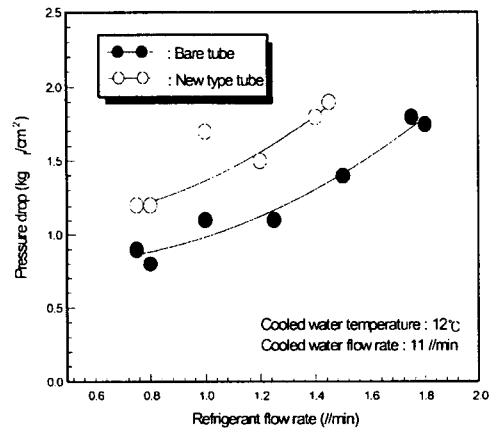


Fig. 10 Influence of refrigerant flow rate on the pressure drop

증관에 비해 높게 나타났다. 이것은 압축일량은 비슷하지만 신형 전열관이 이중관에 비해 냉동능력이 많으므로 응축열량도 많은 것이라 생각된다.

Fig. 7에서 신형 전열관의 경우가 이중관에 비해 압축일량이 약간 높게 나오는 것은 Fig. 10에서 알 수 있는 것과 같이 전열관의 형상에 의해 열교환기 내에서의 압력강화가 크므로 압축기 입구에서의 압력은 증발기에서의 압력보다 낮게 되며 냉매의 비체적이 증가하므로 압축기의 효율이 감소하게 되기 때문이라 생각된다.

Fig. 9는 이중관과 신형 전열관의 성능계수를 나타낸 것이다. 압축일량이 이중관과 신형 전열관이 동일 냉매 순환량에서 비슷하지만 신형 전열관의

냉동능력이 이중관에 비해 매우 크므로 성능계수도 신형 전열관이 약 47% 높게 나오는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 동일 증발압력에서 냉매유량 변화에 따른 이중관과 신형 전열관의 압력강하를 나타낸 것이다. 신형 전열관이 이중관에 비해 약 18% 압력강하가 큰 것을 알 수 있었다. 이것은 신형 전열관의 구조가 복잡하기 때문이라 생각된다.

4. 결 론

기존 이중관 열교환기와 신형 알루미늄 전열관

의 전열특성 및 사이클 특성 실험을 수행하여 이중관과 신형 전열관의 전열특성 및 냉동 시스템에 미치는 영향을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 신형 전열관의 단상유 전열 실험 결과 이중관형 열교환기에 비해 동일유량에서 약 20%, 동일 유속에서 약 4%의 전열량 증가가 있는 것을 알 수 있었다.

(2) 신형 전열관의 성능평가를 위해 동일 증발압력에서 냉매유량변화에 따른 신형 전열관과 이중관의 전열성능을 평가하였다. 이중관에 비해 태극관은 동일 냉매유량에서 전열성능이 약 50% 증가하는 것을 알 수 있었으며 시스템 성능계수도 약 47% 높다는 것을 알 수 있었다. 그러나 열교환기 압력강하는 이중관에 비해 약 18% 많다는 것을 알 수 있었다.

(3) 기존 나관에 전열성능이 우수하고 콤팩트화 및 가공성이 우수할 뿐만 아니라 소재비가 저렴한 전열관을 개발하였다.

감사의 글

본 논문은 1999년도 중소기업 기술혁신 과제로 수행되었으며, 실험장치 제작에 도움을 주신 삼원 냉열엔지니어링의 김상욱 사장님 및 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 서정연, 1989, "傳熱促進技術(Ⅶ)", 공기조화·냉동공학, 제18권, 제4권, pp.319~324
- (2) 노건상, 오후규, 구학근, 김성규, 1993, "냉매 R134a의 수평관내 비등 전열 특성에 관한 연구", 공기조화 냉동공학회 '93 춘계학술대회 논문집, pp.48~52
- (3) 이진호, 권오갑, 1990, "휨 형상에 따른 증발기의 전열 성능", 공기조화·냉동공학 논문집, 제2권, 제1호, pp.27~36

- (4) 문춘근, 백승문, 하오봉, 윤정인, 1999, "신형 알루미늄관의 열전달 특성에 관한 실험적 연구", 한국박용기관학회 1999년도 추계학술대회 논문집, pp. 217~222
- (5) Kruse, H. et al, 1992, "Compression Cycles For Environmentally Acceptable Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pump systems," IIR, Paris, France
- (6) McQuiston, F.C. and Parker, J.D., 1994, "Heating, Ventilating and Air conditioning Analysis and Design," 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.

저 자 소 개



문춘근(文春根)

1971년생. 1997년 부경대학교 냉동공조공학과 졸업. 1999년 부경대학교 대학원 냉동공학과 졸업(공학석사), 현재 동 대학원 냉동공조공학과 박사과정, 당학회 회원



김재돌(金在堦)

1967년생. 1991년 부산수산대학교 냉동공학과 졸업. 1993년 부산수산대학교 대학원 냉동공학과 졸업(공학석사). 1996년 동대학원 졸업(공학박사). 현재 동명대학 건축기계설비시스템과 조교수



윤정인(尹政仁)

1962년생. 1988년 부산수산대학교 냉동공학과 졸업. 1990년 부산수산대학교 대학원 냉동공학과 졸업(공학석사). 1995년 동경농공대 대학원 졸업(공학박사). 현재 부경대학교 냉동공조공학과 조교수