



에어컨 증발기용 열교환기 직경 감소에 따른 냉매 분배기 모세관 설계에 관한 연구

A Study on the Refrigerant Distributor Design on the Reduced Diameter of Evaporator in the Air Conditioner

박정수* · 이재근* · 박민찬* · 김치광* · 여성구**

김은지** · 양수광** · 안영철***†

Jeong-Soo Park*, Jae-Keun Lee*, Min-Chan Park*, Chi-Kwang Kim*, Seong-Gu Yeo**, Eun-Ji Kim**, Soo-Kwang Yang** and Young-Chull Ahn***†

(Received 02 May 2019, Revision received 22 June 2019, Accepted 24 June 2019)

Abstract: In the case of the heat exchanger used in the indoor unit of the air conditioner, it is difficult to analyze the performance due to the two-phase flow of the refrigerant. Therefore, repeated experimental studies have been conducted to determine the maximum cooling capacity of the heat exchanger. The purpose of this study is to predict the performance of a coolant distributor capillary of a heat exchanger with a reduced diameter by using a heat exchanger analysis program (Coil Designer 4.2) and to maintain the cooling performance equivalent to that of the existing heat exchangers. Through the variable diameter and length tests of the refrigerant distributor capillary of the reduced diameter heat exchanger, the simulation analysis accuracy was 93~99%, and the heat exchanger cooling performance decreased by 3% compared with the commercial heat exchanger. As a result, the maximum cooling capacity of the reduced heat exchanger was predicted, and the influence of the refrigerant distributor capillary parameters on cooling performance was analyzed. Therefore, in this study, the design method of the refrigerant distributor that can be applied to the reduced diameter heat exchanger was suggested.

Key Words : Heat exchanger, Two phase refrigerant, Refrigerant distributor, Capillary

***† 안영철(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-0377-8101>) : ***† Young-Chull Ahn(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-0377-8101>) : Professor, Department of Architectural Engineering, Pusan National University.
 교수, 부산대학교 건축공학과
 E-mail : ycahn@pusan.ac.kr, Tel : 051-510-2492

*박정수(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-2658-430X>) : *Jeong-Soo Park(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-2658-430X>) : Researcher, Eco Energy Research Institute.
 연구원, 에코에너지기술연구소

*이재근(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-4224-0099>) : *Jae-Keun Lee(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-4224-0099>) : Researcher, Eco Energy Research Institute.
 연구원, 에코에너지기술연구소

*박민찬(ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-1059-838X>) : *Min-Chan Park(ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-1059-838X>) : Researcher, Eco Energy Research Institute.
 연구원, 에코에너지기술연구소

*김치광(ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-1059-838X>) : *Chi-Kwang Kim(ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-1059-838X>) : Researcher, Eco Energy Research Institute.
 연구원, 에코에너지기술연구소

1. 서 론

1.1 연구배경 및 연구목적

국민 개개인의 전반적인 소득수준이 높아지고 개인의 편안하고 쾌적한 삶에 대한 관심이 집중되면서 가전제품 등의 전자기기 사용이 꾸준히 증가되고 있다. 그러나 화석연료의 수급 불안정에 따른 지속적인 원가상승으로 전기 요금에 대한 부담도 같이 증가하고 있는 상황이다. 또한 국내의 경우 에너지 소비 효율 등급 표시 제도에 의해 제조업자는 생산 단계에서부터 원칙적으로 에너지 절약형 제품을 생산하기 위한 의무적인 신고를 해야 하며 최저 소비 효율 기준 미달 제품의 경우 생산 및 판매가 금지되고 있다. 그래서 대표적 에너지 사용기기인 에어컨에 있어서도 고효율화를 위한 기술개발이 꾸준히 이루어져 오고 있다. 에어컨 성능 향상을 위해 에어컨의 주요 구성요소인 증발기, 압축기¹⁾, 응축기, 팽창 밸브²⁾에 대한 연구가 주로 이루어지고 있으며, 또한 균일한 냉매 분배로 에어컨 효율을 향상시키기 위해 Tae³⁾, Lee⁴⁾ 등은 냉매 분배기의 형상, 각 분지관의 내경, 길이와 설치 위치를 중요하게 고려했으며 Lee⁴⁾ 등은 동일한 열교환기 면적에서 패스 개수 증가에 따른 성능 향상을 시뮬레이션과 실험으로 검증했다. Kim⁵⁾은 임계점 부근에서의 냉매 분배에 대한 연구를 수행하였다. Ku⁶⁾는 열교환기 내관 직경과 길이에 따른 성능에 대한 연구를 수행하였다.

이처럼 열교환기의 최적설계를 위해 내부에 균일한 냉매 유동을 유도하기 위한 연구들이 활발하게 이뤄지고 있다.

본 연구에서는 열전달특성 향상 및 원가절감을

위해 열교환기 튜브의 직경을 감소시킨 경우를 대상으로 최적성능을 구현하기 위한 냉매 분배장치의 효과적인 설계기법의 개발과 검증을 수행하였다.

1.2 냉매 분배기 구조 및 해석 인자

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 냉매 분배기의 구조를 나타낸 것으로 원통형 냉매 분배기에 3개의 모세관이 분지됨으로써 열교환기에 3개의 패스로 냉매를 분배하는 역할을 한다. 직경이 감소된 열교환기의 성능을 기존 열교환기와 동등한 수준으로 유지하기 위해 냉매 분배기에서 열교환기로 균일하게 냉매를 분배해야 한다. 이 때 냉매 분배기 모세관의 해석을 위한 주요 인자로는 모세관의 직경, 길이, 조도가 있다. 그 중 조도는 동일 모세관 제품을 사용함으로써 영향 인자로 고려하지 않았다. 따라서 직경이 감소된 열교환기의 최대 냉방 능력을 예측하기 위하여 냉매 분배기 모세관 길이와 직경을 해석 인자로 선정하였다.

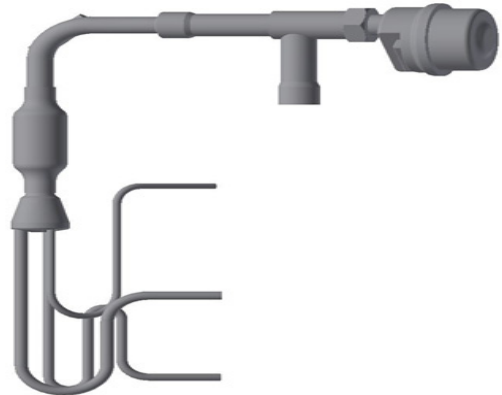


Fig. 1 Capillary of refrigerant distributor

**여성구(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-4378-3335>) : 대학원생, 부산대학교 건축공학과

**김은지(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-1343-9197>) : 대학원생, 부산대학교 건축공학과

**양수광(ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-8892-1810>) : 대학원생, 부산대학교 건축공학과

**Seong-Gu Yeo(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-4378-3335>) : Graduate student, Department of Architectural Engineering, Pusan National University.

**Eun-Ji Kim(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-1343-9197>) : Graduate student, Department of Architectural Engineering, Pusan National University.

**Soo-Kwang Yang(ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-8892-1810>) : Graduate student, Department of Architectural Engineering, Pusan National University.

2. 열교환기 시뮬레이션 해석

2.1 기존 열교환기 성능 측정

2.1.1 성능 측정 조건

열교환기의 성능평가는 KS C 9306 “에어컨디셔너” 규격 조건에 준하여 실시되었다. 실내 건구 온도 27℃, 습구 온도 19℃와 실외 건구 온도 35℃, 습구 온도 24℃에서 분석을 진행하였으며 공기 엔탈피형 칼로리미터를 이용하여 실내측에서의 냉방 능력을 측정하였다.

2.1.2 성능 측정 방법

- 에어컨의 성능 측정 순서는 다음과 같다.
- ① 실내기/ 실외기는 각각의 챔버에 설치한다.
 - ② 각 시료의 통신선과 전원선을 연결한다.
 - ③ 진공 작업 후 냉매 누설을 확인한다.
 - ④ 실내기 토출부를 칼로리미터에 연결하여 측정할 준비를 한다.
 - ⑤ 실내기, 실외기 흡입부에 온습도 샘플러를 설치한다.
 - ⑥ 사이클 누설여부 확인 후 일정량의 냉매를 주입한다.
 - ⑦ KS 규격 조건에서 1시간 정도 안정화 운전 후 5분 단위로 총 7회 적산한다.

2.2 열교환기 시뮬레이션 해석

2.2.1 시뮬레이션 해석 인자

직경 감소 열교환기의 최대 성능을 예측하기 위해 본 연구에서는 상용 프로그램인 코일디자이너(Coil Designer 4.2)를 사용하였다. 코일 디자이너 프로그램은 열교환기 형상, 냉매의 종류, 외기 상태, 열전달 계수, 압력강하 관계식을 이용하여 열교환기를 해석한다. 튜브/핀의 물성치, 구조 형상과 작동 유체의 종류, 열전달/압력 강하 관계식, 공기 측 조건들인 입력 변수를 이용한 시뮬레이션 해석으로 패스 별 냉매 열부하, 열부하 비율 (잠열, 현열), 공기측 차압, 냉매측 차압 등의 출력 변수를 얻었고 열교환기 냉방 성능을 해석하였다.

2.2.2 기존 열교환기 시뮬레이션 조건

에어컨의 냉방능력은 실내기에 의해 산출되므로 열교환기 해석 프로그램에서 온도 조건은 KS 규격인 건구온도 27℃, 습구 온도 19℃를 적용하였으며 열교환기의 기하학적 형상, 제품 풍량은 실제 제품 사양을 입력하였다. 냉매의 출구 압력과 건도는 냉매 사이클 온도를 이용하여 P-h선도에서 구하며 질량유량은 식 (1)로 산출하였다.

$$\dot{m} = \rho_{ref} \times V_{comp} \times RPS \times \eta_{comp} \quad (1)$$

- \dot{m} = 질량유량 (kg/s)
- ρ_{ref} = 압축기 유입부 냉매 밀도 (kg/m³)
- V_{comp} = 압축기 체적 (m³)
- RPS = 압축기 회전수 (revolution/s)
- η_{comp} = 압축기 체적 효율

또한 상관 관계식은 Table 1의 공기측, 냉매(액상냉매, 기상냉매, 이상냉매)측 각각의 열전달 및 압력 강하 관계식을 사용하였다.

Table 1 Correlations for heat transfer and pressure drop according to the refrigerant phases

Refrigerant Conditions	Heat Transfer Correlation		Pressure Drop Correlation	
	Correlation	Factor	Correlation	Factor
Liquid Phase	Gnielinski	1	Blasius Type RLDP	1
Two Phase	Gungor Winterton	1	Jungradermacher TRPDP	1
Vapor Phase	Gnielinski VHTC	1	Blasius Type RVDP	1

2.2.3 기존 에어컨 시뮬레이션 해석 방법

시뮬레이션 해석 결과의 신뢰성을 위해 실제 성능 측정결과와 시뮬레이션 해석결과의 정확도를 확인하였다. 시뮬레이션 해석은 아래와 같은 순서에 의해 진행되었다.

- ① 열교환기 길이, 튜브 위치 조건, 튜브 개수, 튜브 열 등의 기하학적 형상 입력
- ② Fin Per Inch, 핀 두께, 접촉저항, 핀타입 등의 핀 형상 설정

Table 2 Test results of the reference air- conditioner

No.	In (°C)	Out (°C)	Superheat degree (°C)	Capi. (%)	Length (%)
1	9.1	11.0	1.9	100	100
2	9.4	12.9	3.5	100	100
3	9.3	12.1	2.8	100	97

③ 냉매는 기존에 사용중인 R 410 A로 선정

④ 공기측, 냉매측 각각 열전달 및 압력 강하 관계식과 계수 입력

⑤ KS 실내기 규격 온습도 조건인 건구온도 27 °C, 습구온도 19°C로 설정

⑥ 기존 에어컨 실제 풍량, 냉매토출 압력, 건도, 질량 유량 입력

⑦ 실험적으로 측정된 냉방 능력과 시뮬레이션 해석 결과의 정확도 확인

2.2.4 개발 에어컨 시뮬레이션 해석 조건

직경이 감소 된 열교환기의 시뮬레이션 해석은 열교환기 튜브 직경과 열교환기 내부 냉매의 질량유량만 상이한 조건에서 수행되었고 나머지는 동일한 해석 조건에서 진행하였다. 열교환기 튜브 직경의 경우 기존 열교환기 대비 약 30% 감소된 열교환기를 사용하였다. 직경이 감소 된 열교환기는 냉매의 압력손실이 증가하기 때문에 냉매의 질량유량이 감소하므로 기존 열교환기의 냉매 질량유량에 보정인자 0.5를 적용하여 성능을 예측하였다. 냉매 질량유량 보정인자의 경우, Kim⁵⁾의 고압 조건에서 모세관 내경 약 30% 감소에 따른 냉매 질량유량 50 % 감소에 대한 연구 결과를 참고하였다.

3. 열교환기 성능 해석 결과

3.1 기존 에어컨 성능 측정 결과

Table 2는 기존 냉매 분배기를 적용한 에어컨 냉방 실험 결과로 냉방 능력은 5,620 W이다. 냉매 분배기에 의해 열교환기의 3개 패스로 냉매를 분배하였고 열교환기 전단부와 후단부에 열전대를 부착하여 냉매 온도를 측정하였다. 분배기에서 세

개의 패스로 냉매를 분배하는 구조로 각 패스의 과열도는 0°C 이상, 3°C 이하여야한다. 따라서 3°C 이상의 높은 과열도를 가진 패스는 냉매 유동이 균일하지 않다고 판단 할 수 있다. 1~3번 패스 입구 온도는 각각 9.1, 9.4, 9.3°C, 출구는 11.0, 12.9, 12.1°C였으며, 과열도는 각각 1.9, 3.5, 2.8°C로 분석되었다. 과열도 분석 결과 냉매는 2번, 3번 패스로는 상대적으로 적게 유입되어 과열도가 높음을 알 수 있었다. 특히 2번 패스의 경우 과열도가 3°C 이상으로 높은 과열도를 가짐으로써 냉매 분배기에서 열교환기로의 냉매 유동이 균일하지 않음을 파악할 수 있다.

그리고 해당 열교환기의 냉방 능력에 대해 시뮬레이션 프로그램으로 분석한 결과 5,565 W로 분석이 되었으며, 이는 실험결과인 5,620 W 대비 99% 수준으로 상당히 정확한 분석결과를 도출하였다.

3.2 개발 에어컨 시뮬레이션 해석 결과

Table 3은 냉매 분배기 모세관의 직경과 길이를 변수로 한 냉방능력의 변화에 대한 분석결과이다. Case 4, 5, 6은 모세관 길이를 변경하였고 Case 2, 3, 8은 모세관 직경을 변경하였으며 Case 7은 직경과 길이가 모두 변경된 조건이다.

Case 1은 기존 에어컨 냉매 분배기를 직경 감소 열교환기에 부착하여 시험을 진행한 결과로 기존 냉방 능력 대비 약 15% 감소함을 확인할 수 있었고 1번 패스로 냉매가 과다하게 유입되어 상대적으로 2번, 3번 패스로 냉매가 적게 유입됨을 과열도를 통해 확인하였다.

Case 2는 Case 1에서 1번 패스로 냉매가 과다하게 유입되어 직경을 약 60% 수준으로 설정하여 시험을 진행한 결과로 이전 냉방 능력 대비 약 3.5% 상승함을 확인할 수 있었지만 1번 패스로 냉매가 너무 적게 유입되어 약 5.2°C의 높은 과열도를 나타내고 있다.

Case 3은 Case 2에서 1번 패스로 냉매가 적게 유입되어 직경을 83% 수준으로 증가하여 시험을 진행한 결과로 1번 패스로 냉매가 편중됨을 보였고 그로 인해 2번, 3번 패스로 적은 냉매가 유입되어 냉방 능력이 이전에 비해 감소했다.

Table 3 Analysis of the heat transfer performance according to the specifications of the refrigerant distributor

Case	Pass	Inner Diameter (%)	Length (%)	Super Heat Degree (°C)	Simulation (W)
1	1	100	100	-1	4,995
	2	100	100	6.3	
	3	100	97	4.3	
2	1	60	100	5.2	5,064
	2	100	100	2.7	
	3	100	97	0.7	
3	1	83	100	-0.1	5,064
	2	100	100	5.2	
	3	100	97	3.6	
4	1	83	159	3.8	5,084
	2	100	100	4.5	
	3	100	97	-1.7	
5	1	83	159	5.0	5,089
	2	100	97	4.5	
	3	100	109	-1.4	
6	1	83	159	4.1	5,119
	2	100	97	3.1	
	3	100	159	-0.6	
7	1	83	159	3.9	5,083
	2	100	97	3.3	
	3	83	94	-1.7	
8	1	83	159	2.2	5,372
	2	100	97	0.9	
	3	60	94	0.1	

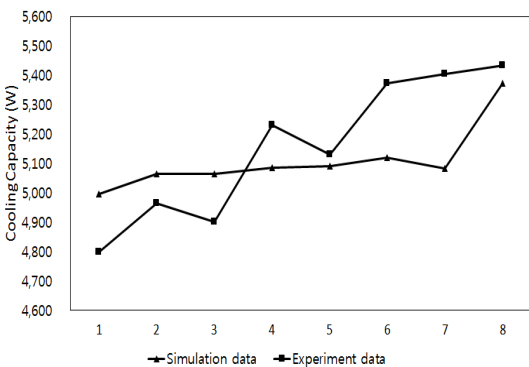


Fig. 2 Comparisons of the cooling capacity between the simulation and experimental data

Case 4는 Case 3에서 1번 패스로 냉매가 과도하게 유입되어 길이를 약 59%만큼 증가시켜 시험을 진행한 결과로 냉방 능력은 이전 시험에 비해 약 6.7% 상승함을 확인할 수 있었으나 3번 패스의 과열도가 -1.7°C로 액상 냉매가 유입됨을 확인하였다.

Case 5는 Case 4에서 3번 패스로 냉매가 과도하게 유입되어 3번 패스 모세관 길이를 약 9%만큼 증가하여 시험을 진행한 결과로 3번 패스의 과열도는 증가하였으나 1번, 2번 패스의 과열도가 같이 증가하여 냉방 능력은 감소하였다.

Case 6은 Case 5 대비 3번 패스의 냉매 분배기 모세관 길이를 더 증가시켜 기준 대비 59% 증가된 수준으로 맞추었으며 이를 통해 1번, 2번 패스의 과열도를 감소시켜 냉방 능력을 약 4.7% 향상시킬 수 있었으나 3번 패스의 과열도가 -0.6°C로 측정되어 다시 분석을 진행하였다.

Case 7은 Case 6 대비 3번 패스 직경을 17% 감소시키고, 길이는 기준치의 97%로 설정하였다. 이는 Case 3에서 3번 패스의 과열도가 -0.6°C였기 때문에 직경만 감소시킬 경우 다른 패스측의 과열도가 증가할 것을 우려하여 길이를 함께 감소시켰다. 그 결과 냉방능력은 이전 시험에 비해 약 1.3% 증가하였으나 3번 패스로 냉매가 과도하게 흐르는 결과가 도출되었다.

Case 8은 Case 7의 조건에서 3번 패스의 직경을 기준 대비 60% 수준으로 감소시켰다. 그 결과 3개의 패스 모두 과열도는 양수로 각각 2.2, 0.9, 0.1이었으며 냉방 능력은 기존 에어컨 냉방 능력의 약 97%를 나타내었다.

Fig. 2는 상기에서 분석된 8가지 Case별 냉방능력에 대해 실험결과와 해석결과를 비교한 그래프이며 약 93~99%의 정확도를 나타내고 있다.

4. 결론

본 논문은 에어컨 실내기용 상용 열교환기의 직경 감소 시 최대 냉방 성능을 예측하기 위한 직경이 감소된 열교환기의 해석 방안을 제시하고자 하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 열교환기 해석프로그램인 코일디자이너 4.2 프로그램을 활용하여 냉매 질량 보정 인자 0.5를 상용 열교환기 냉매 질량 유량에 적용함으로써 직경이 감소된 열교환기의 최대 냉방 능력을 예측하였고 실제 냉매 분배기 모세관 변수 시험 결과와 해석 값의 정확도를 검증한 결과 약 93~97%의 결과를 얻을 수 있었다. 그러므로 직경이 감소된 열교환기의 냉매 분배기 모세관 변수 시험 횟수를 감소시킬 수 있으며 냉매 분배기 변수 시험 결과에 대한 신뢰성을 확보할 수 있었다.

2) 에어컨 실내기 상용 열교환기 대비 직경이 감소된 열교환기의 냉방 능력은 약 97%로 동등 성능 수준을 달성하였다. 그러므로 직경이 감소된 열교환기를 적용하여 설치 면적 감소 및 경량화를 달성하여 경제성을 증대시킬 수 있을 것으로 예상된다.

Author contributions

Y. C. Ahn; Writing-review & editing, J. S. Park; Conceptualization, Writing-original draft, J. K. Lee; Conceptualization, Funding acquisition, M. C. park; Investigation, C. K. Kim; Methodology S. G. Yeo, E. J. Kim, S. K. Yang; Investigation

References

1. M. C. Park, Y. H. Jung, J. Y. Lee, J. K. Lee, and Y. C. Ahn, 2017, "Performance Evaluation of a Crank-driven Compressor and Linear Compressor for a Household Refrigerator", Journal of the Korea Society For Power System Engineering, Vol. 21, No. 5, pp. 5-12. (DOI:10.9726/kspse.2017.21.5.005)
2. C. H. Son, J. I. Yoon, K. H. Choi, S. J. Ha, M. J. Jeon, S. H. Park, and S. B. Lee, 2017, "Cooling Performance Characteristics of 3RT Heat Pump System applied Electronic Expansion Valve", Journal of the Korea Society For Power System Engineering, Vol. 21, No. 6 pp. 79-85. (DOI:10.9726/kspse.2017.21.6.079)
3. S. J. Tae, and K. N. Cho, 2002, "Two-phase Flow Characteristics of Refrigerant in T-branch with Horizontal and Vertical Inlet Tube", Korean Journal of Air- Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 9, pp. 731-748.
4. J. H. Lee, C. D. Kim, J. S. Byun, and T. S. Jang, 2005, "Effects on Refrigerant Maldistribution on the Performance of Evaporator", International Journal of Air- Conditioning and Refrigeration, Vol. 13, No. 2, pp. 107-118.
5. Y. C. Kim., V. Payne, J. M. Choi, and P. Domanski, 2005, "Mass Flow Rate of R-410A through Short Tubes Working Near the Critical Point", International Journal of Refrigeration, Vol. 28, Issue 4, pp. 547-553. (DOI:10.1016/j.ijrefrig.2004.10.007)
6. H. K. Ku, 2014, "Performance Analysis of R-1270(Propylene) Refrigeration System Using Internal Heat Exchanger", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 18, No. 4, pp. 36-42.