

CFD를 통한 고효율 히트펌프 개발을 위한 실험장치

김종열[†]

동명대학교 냉동공조공학과

(2020년 10월 13일 접수: 2020년 10월 30일 수정: 2020년 10월 30일 채택)

Experimental equipment for high efficiency heat pump development by CFD

Jong-Ryeol Kim[†]

Department of Refrigeration & Air Conditioning Engineering

(Received October 13, 2020; Revised October 30, 2020; Accepted October 30, 2020)

요약 : 에너지를 절감하기 위해 고효율 히트펌프를 개발하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있으며, 실외기 코일에 발생하는 서리가 발생하는 현상을 줄이거나 없애기 위한 연구도 동시에 이루어지고 있다. 계절에 관계없이 히트펌프의 실외기에 서리가 발생하지 않는 연구를 진행할 수 있도록 자연상태와 동일한 조건에서 실험할 수 있는 항온챔버를 구축하였다. 실험장치의 타당성을 검증하기 위해 실험장치인 항온챔버 내의 실외기 앞 덕트의 직선 길이를 3가지 조건으로 나누어 시뮬레이션 하였다. 그 결과 덕트 관경의 10배 길이만큼 직선 공간을 확보해야 한다는 것을 알게 되었다.

주제어 : 한랭지, 착상, 제상, 히트펌프, 입구길이

Abstract : In order to save energy, a lot of research has been conducted to develop a high-efficiency heat pump. Research to reduce or eliminate the occurrence of frost in the outdoor unit coil is also being conducted at the same time. A constant temperature chamber was constructed that allows experimentation under the same conditions as in the natural state so that frost does not occur in the outdoor unit of the heat pump regardless of the season. In order to verify the validity of the experimental apparatus, a simulation was conducted by dividing the straight length of the duct in front of the outdoor unit in the constant temperature chamber, which is the experimental apparatus, into three conditions. As a result, it was found that a straight space must be secured 10 times the diameter of the duct.

Keywords : Cold region, Frosting, Defrosting, Heat pump, Entrance length

[†]Corresponding author
(E-mail: kjy804@tu.ac.kr)

1. 서론

에너지 비용 증가 및 에너지 자원 고갈로 인한 에너지 절약을 위해 고효율 히트펌프의 효율을 개선하는 많은 연구가 수행되었다. 저온에서 고온으로 열을 전달하는 히트펌프는 하나의 장치로 난방을 공급할 수 있을 뿐만 아니라 전기 히터에 비해 효율이 매우 높고 스팀 보일러처럼 직접 이산화탄소를 발생시키지 않기 때문에 그들은 대표적인 난방 장치가 되었다.

공기를 열원으로 하는 공냉식 히트펌프의 경우, 습한 실외 환경에서 히트펌프를 사용하면 실외기 표면에 성애가 형성된다. 성애가 발생하면 실외기의 증발 능력이 감소하여 히트펌프의 난방 능력이 감소하므로 제상 운전을 통해 주기적으로 성애를 제거해야 한다. 가장 일반적인 방법은 압축기를 통과 한 고온 냉매를 실외기에 공급하여 성애를 제거하는 고온 가스 제상 방식이다. 그러나 고온 가스 제상 방식은 난방 능력이 감소하는 단점이 있다.

다른 연구로 실외기 형상 개선, 부동액 적용, 축 열기 내장형 열교환기 개발 등 다양한 서리 지연 방법이 연구되고 있다. 또한 실외기 코일을 3열로 제작하고, 제상이 필요한 경우 3열 중 1열을 콘덴서로 변환하여 주기적으로 제상하는 교대 제상 방법에 대한 연구 결과도 발표되고 있다.

본 연구의 목적은 실외기에 수증기가 없는 건조한 공기를 공급하여 서리를 방지하는 것이다. 실외기의 유입 공기를 건조한 공기로 처리하여 추운 지역의 실외기 표면에 성애가 발생하지 않

도록 하기 위해서는 성애가 발생했을 때 온습도 등의 공기 조건을 구현하는 것이 중요하다. 따라서 계절에 관계없이 이러한 실험을 수행할 수 있도록 온도를 영하 25°C 정도로 낮출 수 있는 항온 장치를 구축했다. 또한 다양한 테스트 조건에서 히트펌프의 열용량을 테스트하기 위해 별도의 난방실을 구축했다.

실험에 앞서 연구자가 제안한 실험 장치(덕트형 항온 챔버)를 항온 챔버로 기능할 수 있는지 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로 실험 장치를 수정하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

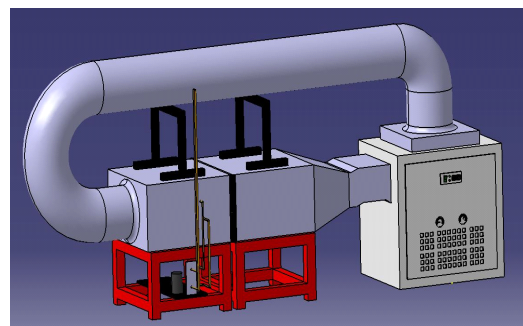
2. 실험 장치 (덕트형 항온 챔버)의 CFD 분석

실험 장치는 -25 °C의 저온 공기를 공급할 수 있는 항온 장치, 히트펌프의 실외기가 설치되고 히트펌프가 23.1 m² 면적의 난방이 가능한 시험실, 곡선형 덕트로 구성된다. 설정된 공기를 테스트 챔버로 이송하여 히트펌프의 실외기에 제공하고 어떤 영향을 미치는지 분석한다.

본 연구의 목적은 실외기 표면의 서리 현상과 실외 온도 변화에 따른 난방 용량의 변화를 파악하고 서리 방지 방안을 모색하는 데 있다. Fig. 1의 왼쪽 그림은 -25 °C의 공기를 공급할 수 있는 실험 장치를 보여준다. 항온 장치는 원형 덕트를 통해 하단의 테스트 챔버에 설치된 실외기(26단, 2열)에 설정 온도의 공기를 공급한다. 공급된 공기는 실외기에 도달할 때 실외기 전면부에 균일한 온도, 속도 및 압력 분포를 나타내야 한다.



The actual use of heat pump equipment



3D drawings of heat pump experimental devices

Fig. 1. Overview of outdoor unit chamber.

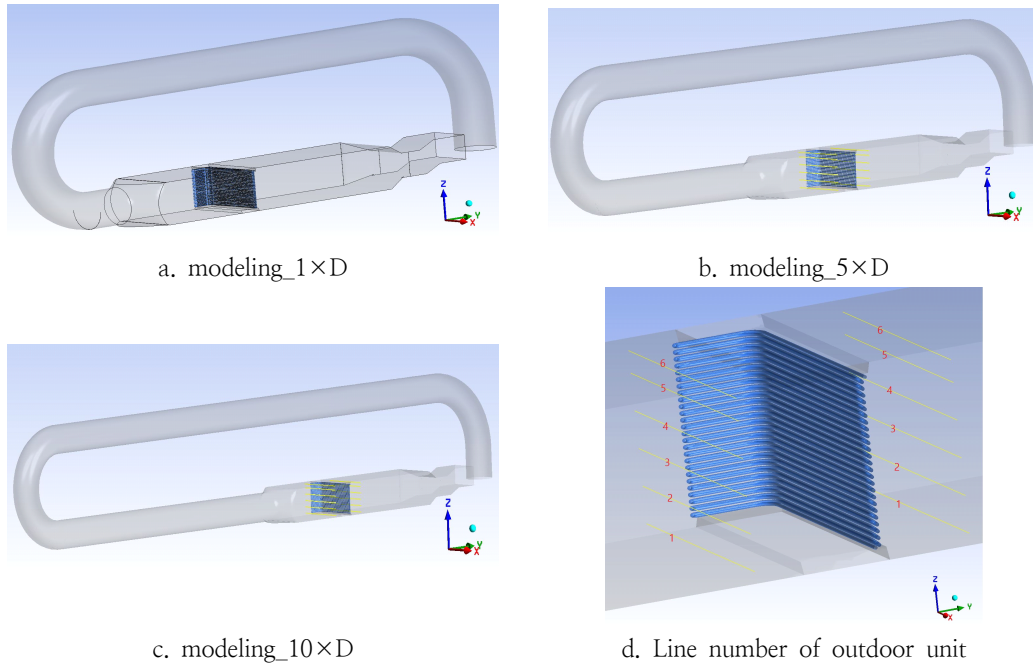


Fig. 2. Modeling of outdoor unit chamber.

Table 1. CFD conditions

	Type	Value
CFD Code	ANSYS CFX Ver R19.2	-
Analysis method	Mesh type	Tetra-Prism
	Mesh count	1,690,377 [node]
	Turbulence model	k-Epsilon
	Heat Transfer model	Thermal Energy
	Adevection scheme	High Resolution
	Convergence ResidualTarget	10^{-6}
Boundary condition	Inlet	Velocity
	Outlet	Average Static Pressure
	Wall Cooling pipe	Temperature
	Reference Pressure	1.0 [atm]

실험 장치의 3D 모델은 CATIA로 생성되었으며, 메시는 ANSYS CFX 19.2에서 생성되어 실외기 전면 또는 후면의 온도, 기류 및 압력 분포를 시뮬레이션 한다. 많은 연구에서 기류 분포(유속)와 온도가 실외기 표면의 성애층 형성과 성장에 중요한 역할을 한다고 보고하였다. 시뮬레이션 조건은 Table 2와 같이 항온 장치에서 공급되는

공기온도를 5 °C 간격으로 0 °C에서 -25 °C로 분류하였으며, 풍속은 0.5 m/s 간격으로 5.0 m/s에서 7.0 m/s로 구분하였다.

또한 Fig. 2와 같이 실외기 전면의 입구길이(entrance length)를 실험장치와 동일한 조건인 경우, 관경의 5배로 한 경우, 관경의 10배 길이를 확보한 경우로 나누어 분석하고자 한다.

Table 2. Simulation conditions

No.	Inlet Air Temperature(°C)	Inlet Air Velocity(m/s)	No.	Inlet Air Temperature(°C)	Inlet Air Velocity(m/s)
Case1	0	5.0	Case16	-15	5.0
Case2		5.5	Case17		5.5
Case3		6.0	Case18		6.0
Case4		6.5	Case19		6.5
Case5		7.0	Case20		7.0
Case6	-5	5.0	Case21	-20	5.0
Case7		5.5	Case22		5.5
Case8		6.0	Case23		6.0
Case9		6.5	Case24		6.5
Case10		7.0	Case25		7.0
Case11	-10	5.0	Case26	-25	5.0
Case12		5.5	Case27		5.5
Case13		6.0	Case28		6.0
Case14		6.5	Case29		6.5
Case15		7.0	Case30		7.0

3. CFD 결과 및 분석

3.1. 기류 분포

Fig. 3은 입구온도 0°C, 입구유속이 5 m/s에서, 실외기 전면부의 입구길이와 실험장치와 동일한 경우, 5배로 길게 한 경우, 10배로 길게 한 경우의 시물레이션 결과로, 실외기 전면부에서의 기류 분포를 나타낸 것이다.

실외기 전면의 입구길이와 실험장치와 동일한 경우를 기준으로 최대의 차이를 보인 것은 라인 1과 라인 3으로, 최대 3.7 m/s가 발생하였다. 입구길이를 5배로 길게 한 경우, 중심부에서의 최대 차이는 라인 2와 라인 5로, 그 차이는 3.5 m/s이었다. 입구길이를 10배로 길게 한 경우, 중심부의 유속 차이는 라인 2와 라인 6으로 4.0 m/s의 유속 차이를 보였다. 입구길이와 확보되지 않을 경우 열교환기의 가운데 부분 유속이 높음에도 불구하고 열교환기 하단부인 라인 1을 제외하고는 타당하지 않음을 알 수 있다. 라인의 번호는 열교환기 아래부터 1번으로 가장 윗 부분이 6번이다.

Fig. 4는 입구온도 0°C, 입구유속이 5 m/s에서, 실외기 후면부에서의 기류분포를 시물레이션 한 결과로, 실외기 전면의 입구길이와 실험장치와 동

일한 경우, 5배로 길게 한 경우, 10배로 길게 한 경우의 결과이다.

입구길이와 실험장치와 동일한 경우, 열교환기 후면부에서의 기류는 하단부인 라인 1은 열교환기 중심부의 유속은 높고, 양쪽은 낮다. 상단부인 라인 6도 이와 유사한 패턴을 보이고 있다. 열교환기 중간층에서는 대체로 일반적인 물리적 특성을 보였다.

입구길이와 덕트 관경의 5배로 한 경우, 열교환기 후면부에서의 기류는 라인 1과 라인 6이 가장 낮은 값을 보였다. 즉 열교환기 하부와 상부에서는 공기유속이 0.5 m/s 이하를 나타냈다.

입구길이와 덕트 관경의 5배로 한 경우의 결과는 10배로 한 경우와 매우 유사한 정성적인 패턴을 나타냈다. 다만 유속의 차이는 5배인 경우와 비교하면 0.5 m/s 정도는 줄어들었다.

3.2. 온도 분포

Fig. 5는 입구온도 0°C, 입구유속이 5 m/s에서, 실외기 후면부에서의 온도분포를 시물레이션 한 결과로, 실외기 전면의 입구길이와 실험장치와 동일한 경우, 5배로 길게 한 경우, 10배로 길게 한 경우의 조건이다.

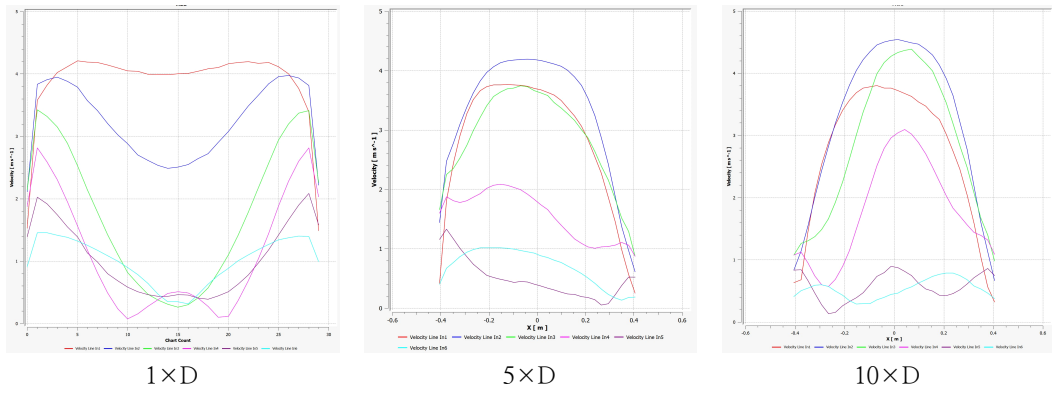


Fig. 3 Airflow distribution in front of outdoor unit according to length change of straight part.

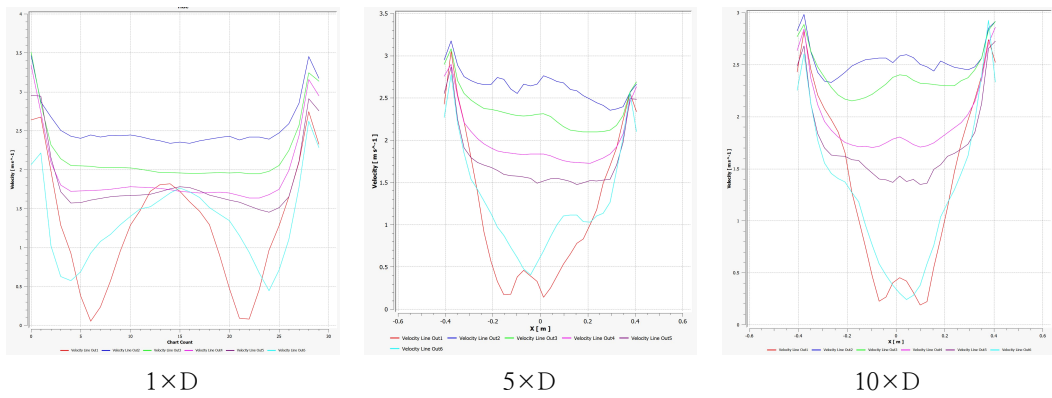


Fig. 4. Airflow distribution at the rear of the outdoor unit according to the length change of the straight part.

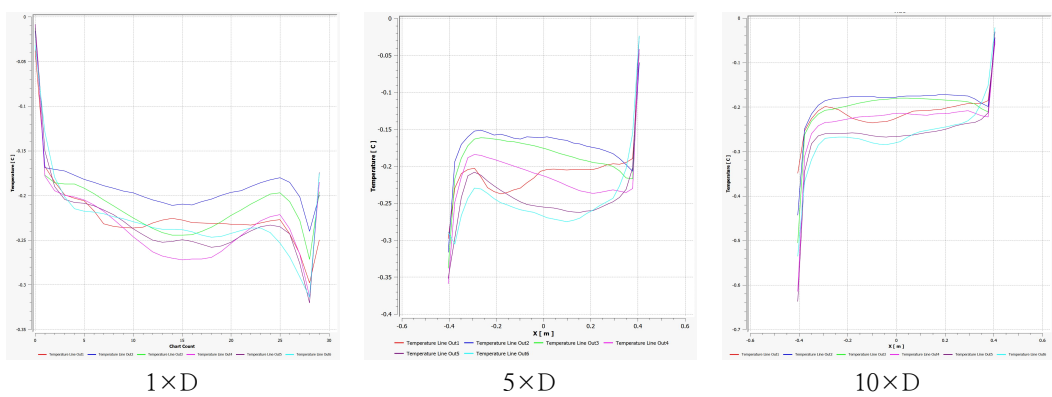


Fig. 5. Temperature distribution at the rear of the outdoor unit according to the length of the straight part.

열교환기 전면부에서의 온도 분포는 히트펌프의 실외기를 가동하지 않은 조건에서 시뮬레이션하였기 때문에 의미가 없지만, 열교환기를 거친 후면에서의 온도 분포는 기류 및 압력에 의한 차이가 발생할 것으로 판단하여 결과를 정리한 것이다.

입구 길이가 실험장치와 동일한 경우, 그래프와 같이 좌측은 -0.175°C , 가운데는 평균 0.2°C , 우측은 -0.28°C 의 온도 강하가 발생하였다. 입구길이가 덕트 관경의 5배로 한 경우의 결과는 앞과는 반대의 결과로, 좌측은 평균 -0.3°C , 중간은 -0.2°C , 우측은 -0.22°C 의 온도 강하가 발생하였다.

입구 길이를 덕트관경의 10배로 한 경우의 결과는 5배의 경우와 유사한 패턴을 보였으며, 좌측은 평균 -0.5°C , 중간은 -0.25°C , 우측은 -0.21°C 의 온도 강하가 발생하였다.

6. 결론

추운 지역의 외기에 설치된 실외기의 표면에 서리가 발생하지 않는 히트펌프를 개발하기 위해 계절에 관계없이 실험이 가능한 항온챔버실을 구성하였으며, 실험실에 설치한 실험장치는 자연 상태의 실외기와 동일한 조건에서 실험이 가능한 것인지 분석하기 위해 시뮬레이션을 하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 실험장치와 동일한 실외기 전면의 입구길이가 짧은 경우엔 실외기 전면부의 일반적인 기류분포가 발생하지 않고 난류의 발생을 추정할 수 있는 기류 패턴을 보였다.

(2) 입구길이를 5배, 10배로 한 경우의 실외기 전면 기류분포는 유사한 결과를 보였지만, 층류 유동을 보이기 위해서는 입구길이가 관지름의 100배 이상이어야 한다는 보고가 타당한 것으로 보여지는 결과로, 난류 패턴을 보였다.

(3) 실외기 후면에서의 온도분포 결과를 정리하면 열교환기 상, 하, 좌, 우 모두 5배인 경우보다 10배로 한 경우의 온도 폭이 적음을 알 수 있다.

(4) 실외기 상부와 하부의 압력차는 기류 속도에 영향을 받기 때문에 결과에 나타내지 않았지만 기류 속도와 동일하게 실외기의 서리층 발생에 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

References

1. J.R. Kim, "Simulation of identify the frost formation of the heat pump outdoor unit", *The Korean Society of Applied Science and Technology*, Vol.36 No.4, pp.1410~1419,(2019)
2. J.R. Kim, "Analysis of flow characteristics in the experimental apparatus using a heat pump outdoor unit", *2019 Spring Conference on The Korean Society of Applied Science and Technology*, p.151, (2019)
3. J.R. Kim, "CFD of experimental apparatus for analyzing frost in heat pump outdoor unit under cold condition", *The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea*, pp.798-802, (2019).
4. K.S. Lee, S. Jhee, "Frosting and defrosting in heat exchangers", *The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea*, pp.421-422,(1998)
5. C.G. Lee, H.C. Suh, H.C. Noh and K.S. Park, "A Numerical Study on the Flow behavior Characteristics of Disk Type Heat Exchanger", pp.617-618, (2011)
6. J.R. Choi, N.K.Hur and N.H. Kim, "A Numerical Study on Heat Transfer Characteristics of Inclined-Flow Heat Exchanger Element for Sensible Heat Transfer", *The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea*, pp.7-13,(2012)
7. J.H. Park, J. Lee and B.J. Kim, "Numerical Study on the Enhancement of Heat Transfer Efficiency in the Air to Air Heat Exchanger", *Proceedings of the KFMA Annual Meeting*, pp. 257-258,(2013)
8. I.S. Yu, D.H. Shin, J.H. Oh, M.K. Shin, H.J. Lee and Y.S. Ko, "Design / Construction / Operation of Experimental Apparatus for Performance Evaluation of Heat Exchanger", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - B*, Vol.43, No.4, pp.313-321,(2019)

9. Y.S. kwak, J.H. Jeong, "Influence of design change of heat exchanger on heat transfer performance according to heating part load", *The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea*, pp.397-400,(2018)
10. D.S. Shin, A.H. Seung and H.W.Kim, "Analysis of Thrust According to Nozzle Shape of Heat Exchanger", *The Korean Society of Propulsion Engineers*, pp.483-489,(2018)
11. M.S. Park, M.S. Kim, "A Study on the Seasonal Efficiency Estimation of an Air source heat pump according to the change of heat exchanger performance", *The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea*, pp.1-4, (2018)
12. M.J. Kim, S.H. Park, K.N. Cho, "Experimental analysis of local frost characteristics and heat transfer rate of the fin tube heat exchanger", *The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea*, pp.203-204,(2017)
13. C.W. Kim, Y.C. Ahn and G. T. Kim, "A Numerical Study on the Design of Exchanger for Desiccant Dehumidifier", *The Korean Society for Power System Engineering*, pp.54-62, (2013).
14. C. W. Park, C. D. Kang, "Characteristics of defrosting by electric heater on fin tube heat exchanger to supplying power", *The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea*, pp.68-71,(2015)
15. J.N, Seo, Y.I. Kim and K.S. Chung, "Dynamic Simulation of a Hybrid Cooling System utilizing Heat Pump, Desiccant and Evaporative Cooler", *Transactions of the Korea society of Geothermal Energy Engineers*, Vol.7, No.1, pp.45-50, (2011).
16. N.M. Park, J.S. Shin, B.Y. Chung and B.S. Kim, "A New Dynamic VRF Heat Hump Simulation Including Frosting and Defrosting Models", *Transactions of the KSME C Industrial Technology and Innovation*, Vol.3, No.1, pp.1-13,(2015)