

항온챔버에서 히트펌프 실외기의 성능 평가를 위한 시뮬레이션

김종열

동명대학교 냉동공조공학과

Simulation for Performance Evaluation of Heat Pump Outdoor Unit in the Constant Temperature Chamber

Jong-Ryeol Kim

Dept. of Refrigeration & Air-conditioning Eng., Tongmyong University

요약 에너지를 절약하기 위해 고효율 히트펌프를 개발하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 그 중, 실외기 코일에 발생하는 서리가 발생하는 현상을 줄이거나 없애기 위한 연구도 동시에 이루어지고 있다. 계절과 관계없이 히트펌프의 실외기에 서리가 발생하지 않는 연구를 진행할 수 있도록 자연 상태와 동일한 조건에서 실험할 수 있는 항온챔버를 구축하였다. 항온챔버 내에 설치된 히트펌프의 실외기에 자연 상태와 같은 조건으로 시뮬레이션하였으며, 그 결과 외기온도가 낮을수록 냉매의 질량 유량은 감소하였으며, 냉매의 건도 역시 외기온도에 따라 선형적으로 증가함을 확인하였다.

• 주제어 : COP, 착상, 건도, 히트펌프, 항온챔버, 시뮬레이션

Abstract A lot of research is being done to develop a high-efficiency heat pump to save energy. Among them, research to reduce or eliminate the phenomenon of frost occurring in the outdoor unit coil are being conducted at the same time. A constant temperature chamber that can be tested under the same conditions as natural conditions was constructed to conduct research that does not cause frost on the outdoor unit of the heat pump regardless of the season. The outdoor unit of the heat pump installed in the constant temperature chamber was simulated under the same natural conditions. As a result, it was confirmed that the mass flow rate of the refrigerant decreased as the outdoor temperature decreased, and the dryness of the refrigerant also increased linearly with the outdoor temperature.

• Key Words : COP, Frosting, Dryness, Heat pump, Constant temperature chamber, Simulation

Received 11 August 2023, Revised 28 August 2023, Accepted 31 August 2023

* Corresponding Author Jongr-Ryeol Kim, Dept. of Refrigeration & Air-conditioning Engineering, Tongmyong University, 428, Sinseon-ro, Nam-gu, Busan, Korea. E-mail: kjy804@tu.ac.kr

I. 서론

최근의 공조 산업은 에너지를 절약할 수 있는 에너지 소비효율과 환경오염 규제를 강화함에 따라 공조기의 성능 및 에너지 소비효율 향상을 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 히트펌프 역시 하나의 시스템으로 여름철 냉방이 가능하고, 겨울에는 난방이 가능할 뿐만 아니라 일반 전열기와 비교해 효율이 매우 높고 이산화탄소를 직접적으로 발생하지 않기 때문에 많은 연구가 이루어지고 있다.

공기를 열원으로 하는 공랭식 히트펌프의 경우, 외기온도가 낮은 실외 환경에서 난방으로 사용하면 실외기 표면에 서리가 형성된다. 서리가 발생하면 실외기의 증발 능력이 감소하여 히트펌프의 난방 능력이 감소하므로 부하에 따른 에너지 손실이 발생하여 에너지 효율이 급격히 떨어진다. 따라서 제상 운전을 통해 주기적으로 성애를 제거해야 한다.

본 연구의 목적은 히트펌프 실외기에 서리가 발생하지 않도록 수증기가 없는 건조공기를 공급하여 히트펌프의 성능을 유지하고자 하는 것이다.

저온 환경에서 히트펌프의 성능을 4계절 실험할 수 있는 항온챔버를 구축하는 데 있어 실험실의 크기로 인해 최적 용적의 항온챔버를 제작해야 한다. 연구자는 덕트형 챔버를 제작하고 자연 상태와 동일한 실험이 가능한가를 시뮬레이션하여 자연상태와 유사하지 않음을 확인하였으며, 이를 논문으로 발표한 바 있다. 따라서 이번에는 덕트형 항온챔버가 아닌 일반실과 같은 육면체의 항온실을 구성하였다. 히트펌프 실외기를 항온챔버 내 상단에 배치하였으며, -30°C 의 저온환경 구현이 가능하다. 실험에 앞서 연구자가 제안한 실험장치(일반실형 항온챔버)가 자연 상태와 동일한 조건으로 히트펌프 실외기의 성능을 평가할 수 있는지 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행하였으며 그 결과를 보고한다. 이후 시뮬레이션 결과를 바탕으로 실험 장치를 수정 보완하고자 한다.

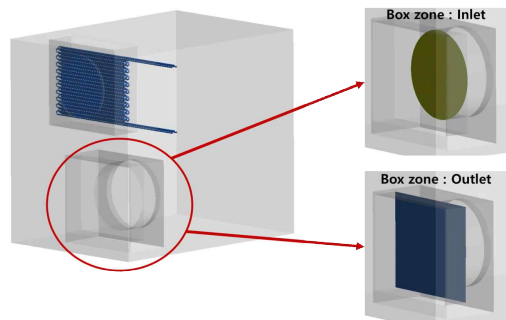
II. CFD 형상 및 경계조건

CFD는 실험실(Fig. 1)과 같은 형상으로, Fig. 2와 같이 3D 모델링하였다. Fig. 2(a) Box Zone은 내부의 항온을 유지시켜주는 유로부를 모델링 하였다. 그리고

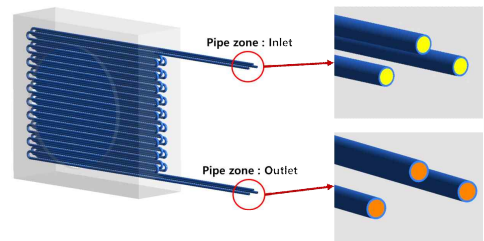
Fig. 1(b)는 냉매가 흐르는 Pipe의 Solid와 Fluid 부분을 모델링 하였다.



Fig. 1. Experimental device



(a) Box Zone



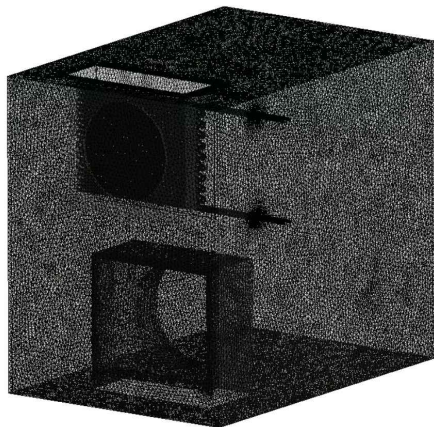
(b) Pipe Zone

Fig. 2. Modeling of CFD

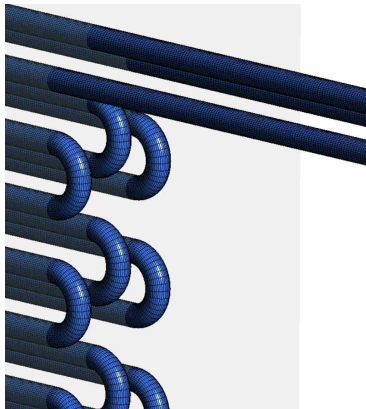
열교환기는 3열 20단으로 구성하였고, Fig. 2와 같이 Box Zone은 Tetra prism을 사용하였으며, 상대적으로 모델링이 얇은 Pipe Zone Hexa Mesh를 사용하였다. 전체 Mesh는 약 5,600개의 node이다.

유동해석은 ANSYS CFX Ver.2021R1을 이용하였다. 해석은 크게 항온을 유지하는 Box Zone과 냉매가 흐르는 Pipe Zone으로 구분할 수 있다. 난류 모델은 SST를 사용하였으며, Pipe 부분의 Solid를 포함하여, 전도 및 대류에 의한 열전달도 함께 계산하기 위해 Heat Transfer 해석하였고, 옵션은 Thermal Energy로 설정

하였다. Box Zone의 물성은 Air Ideal Gas이고, 입출구의 위치는 Fig. 1에서와 같고, 입구는 Velocity로 하였고, 온도 조건도 함께 부여 하였다. 출구 조건은 유출입이 가능한 Opening으로 설정하였으며, 온도 조건도 함께 설정하였다. Pipe Zone의 물성은 R134aRK이고, 온도와 압력에 따라 물성에 상(Phase)가 결정된다. 입구의 조건은 질량 유량으로 온도 조건도 함께 부여하였다. 출구 조건은 압력으로 설정하였다. Pipe zone의 경우 Solid의 열전도가 포함되었으며, 물성은 Cooper이다.



(a) Box Zone



(b) Pipe Zone

Fig. 2. Mesh

Box zone과 Fluid Zone의 입·출구 경계조건은 Table 2와 같이 설정하였다. Box zone의 Inlet의 속도는 1.0[m/s] 이며, 온도는 각 Case에 따라 설정하였다. Box zone은 항온 부분이라 입구와 출구의 온도는 동일하다. Pipe zone의 Inlet은 질량 유량 및 온도로 설정하였으며, Inlet에서의 R134aRK의 물성은 100% 액체로

유입되는 조건이다. Outlet은 압력으로 설정하였다. Table 2.와 같이 각 Case를 구성하였으며, 이때의 유동 특성 및 Pipe zone에서의 R134aRK 상태를 확인하였다.

Table 1. CFD conditions

	Type	Value	
CFD Code	ANSYS CFX Ver 2021R1	-	
Analysis method	Mesh type	Tetra-Prism and Hexa.	
	Mesh count	56,556,283 [node]	
	Turbulence model	Shear Stress Transport	
	Heat Transfer model	Thermal Energy	
	Advection scheme	High Resolution	
	Convergence ResidualTarget	10-6	
Boundary condition	Box Zone	Inlet	Velocity
			Temperature
		Outlet	Opening Pres. and Dirn (0 Pa)
			Temperature
	Reference Pressure	1.0 [atm]	
	Material	Air Ideal Gas	
	Pipe Zone	Inlet	12.5 [kg/hr]
			Temperature
		Outlet	Average Static Pressure
		Reference Pressure	1.0 [atm]
Material		Fluid : R134aRK	
	Solid : Cooper		

Table 2. CFD boundary conditions

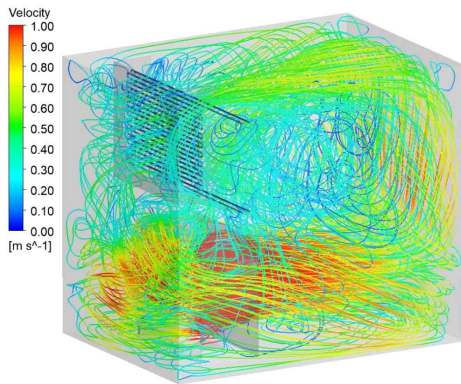
Case	Box zone		Pipe zone		
	Inlet	Outlet	Inlet		Outlet
	Temp. [C]		Q. [kg/hr]	Temp. [C]	Pres. [psi]
1	0.2		10.67	-4.5	21.0
2	-4.4		9.57	-8.4	16.0
3	-10.0		9.73	-12.6	11.0
4	-14.3		9.68	-17.3	7.0
5	-20.4		9.59	-22.0	3.0
6	-24.1		9.54	-27.1	-1.0

본 연구에서는 난방실의 온도를 30°C로 설정하고, 실외기가 위치한 항온챔버 온도는 -25°C에서 0°C까지 5°C 간격으로 6단계로 설정하였다. 항온챔버 내 실외기 표면의 서리가 형성되는지, 히트펌프의 열적 특성은 어떻게 변하는지를 파악하기 위해 실험하였다.

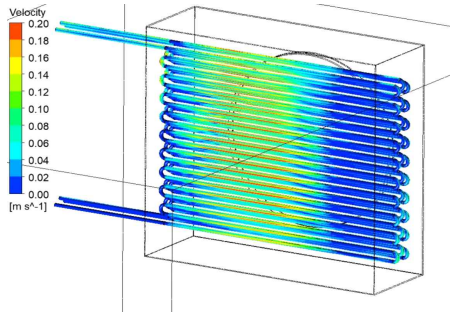
III. CFD 결과 및 분석

3.1. 속도 분포

Fig. 3 Box zone에서 유동 분포를 Streamline으로 표현한 것이다. 입구에서 1.0[m/s] 유입되어 상단에 위치한 Pipe zone에 얼마나 영향을 미치는지 Contour로 확인하였다. Pipe 중앙부에 주로 영향을 주는 것을 확인할 수 있으며, 0.2[m/s]의 유속이 흐름을 확인할 수 있다.



(a) Box zone

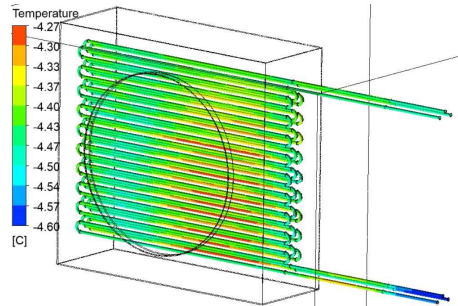


(b) Pipe zone

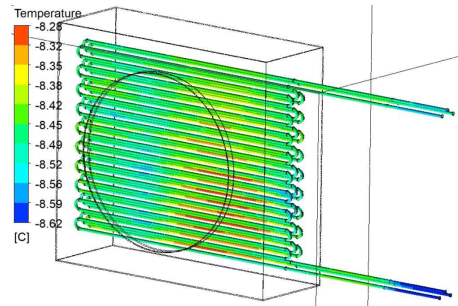
Fig. 3. Velocity distribution

3.2. 온도 분포

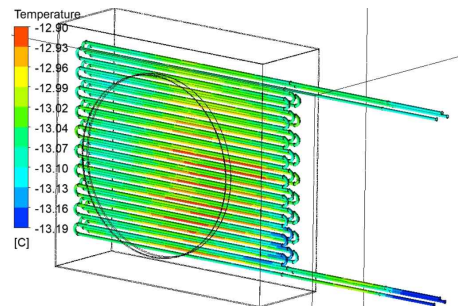
Fig. 4는 각 Case별 Pipe에서 온도 분포를 확인하였다. 외부 유동에 영향을 받는 영역에서 상대적으로 온도가 높은 것을 확인할 수 있다. 하지만 온도 차이는 0.4도 정도로 확인된다. Pipe의 온도는 항온을 유지하는 Box zone의 온도와 비슷한 것을 확인할 수 있다.



Case1



Case2



Case3

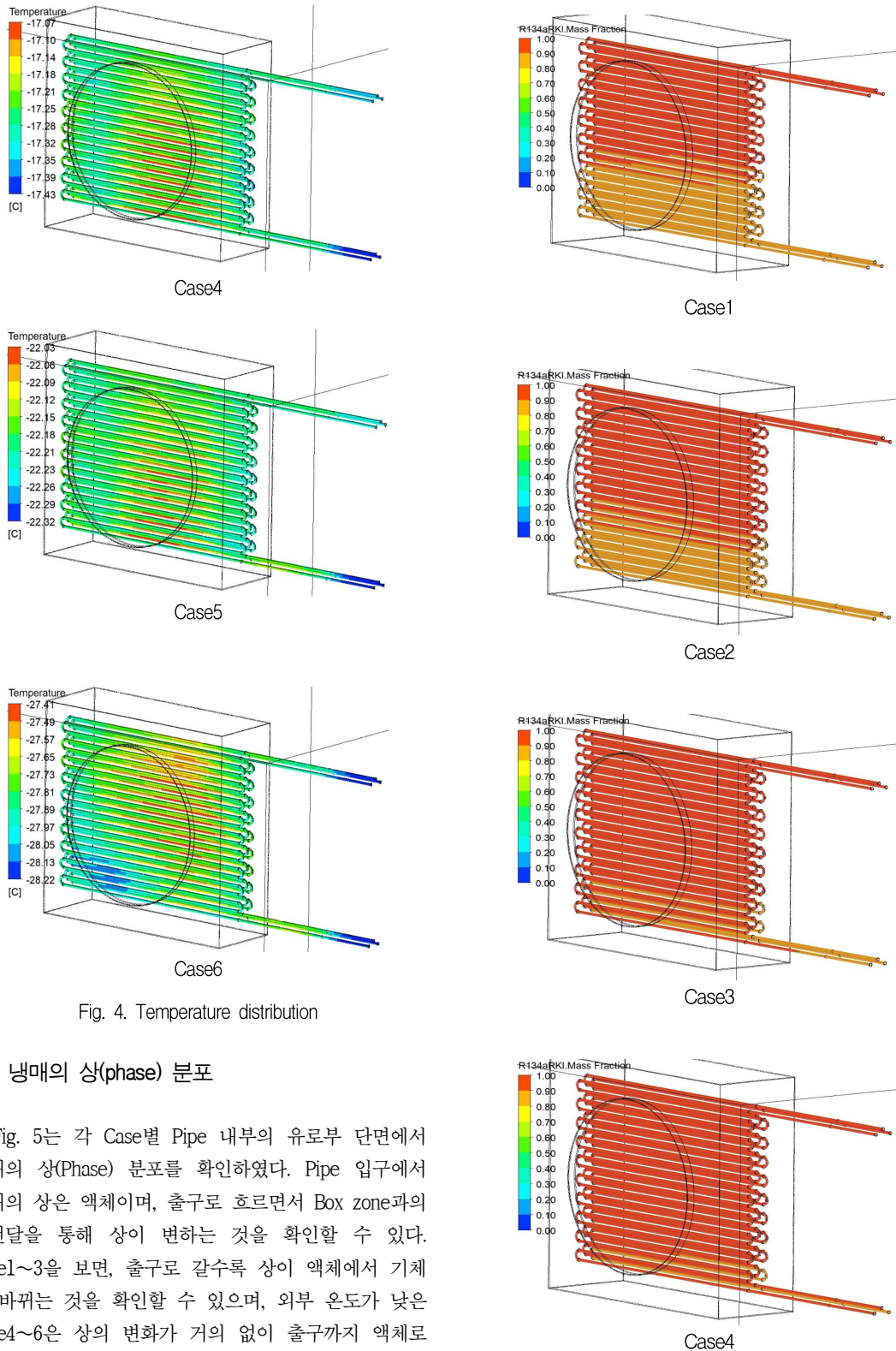


Fig. 4. Temperature distribution

3.3. 냉매의 상(phase) 분포

Fig. 5는 각 Case별 Pipe 내부의 유로부 단면에서 냉매의 상(Phase) 분포를 확인하였다. Pipe 입구에서 냉매의 상은 액체이며, 출구로 흐르면서 Box zone과의 열전달을 통해 상이 변하는 것을 확인할 수 있다. Case1~3을 보면, 출구로 갈수록 상이 액체에서 기체로 바뀌는 것을 확인할 수 있으며, 외부 온도가 낮은 Case4~6은 상의 변화가 거의 없이 출구까지 액체로 유지되는 것을 확인할 수 있다.

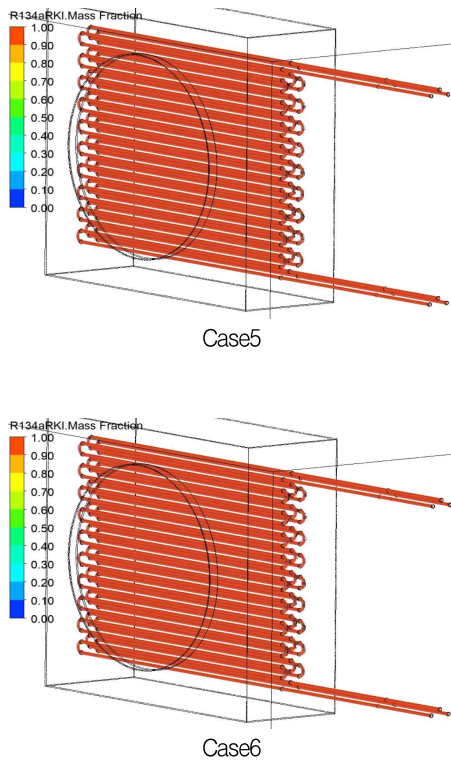


Fig. 5. Phase distribution of refrigerant

Fig. 6은 각 외부 온도에 따른 Pipe 출구에서 냉매의 액체 비율을 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 4에서 확인한 것과 같이 Case 1~6의 온도가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 외부 온도에 따라 출구에서 냉매의 액체 비율은 높은 것을 확인할 수 있으며, 온도가 낮을수록 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다.

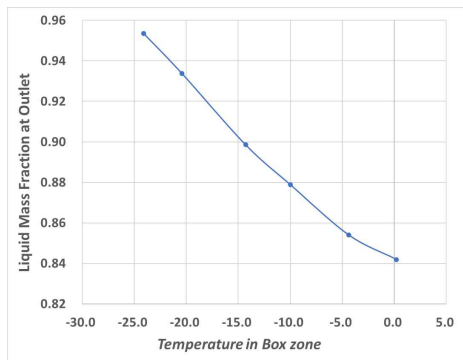


Fig. 6. Phase distribution of pipe outlet to temperature

IV. 결론

추운 지역의 외기에 설치된 실외기의 표면에 서리가 발생하지 않는 히트펌프를 개발하기 위해 계절과 관계없이 실험이 가능한 항온챔버실을 구성하였으며, 실험장치(일반실형 항온챔버)가 자연 상태와 동일한 조건을 만족할 수 있는지 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행한 결과, 설정된 외부 온도가 높을수록 질량유량은 선형적으로 증가하였으며, 또한 출구에서의 냉매의 액체 비율이 높은 것을 확인 즉, 온도가 낮을수록 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다.

REFERENCES

- [1] C.D. Jeon, "Performance Improvement Technology on a Continuous Heating Heat Pump at Frost Condition", Korea Academy Industrial Cooperation Society, Vol.14 No.2, pp. 573~577, 2013(in Korean).
- [2] S.H. Kim, "Study on the Performance of Refrigerating System in a Refrigerator Truck with Frost Growth", Graduate School of Chosun University, pp.1~76, 2013(in Korean).
- [3] 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(in Korean).
- [4] 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 (in Korean).
- [5] 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(in Korean).
- [6] 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 (in Korean).

[7] 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(in Korean).

저자 소개

김 종 열 (Jong-Ryeol Kim)



1994년 2월 : 부산수산대학교
냉동공학과(공학석사)
1997년 8월 : 부경대학교
냉동공조공학과(공학박사)
2000년 3월~현재 : 동명대학교
교수

관심분야 : 사물인터넷을 이용한 공조시스템, 저온용
히트펌프, 자기냉동기술