

실내 부하 변동에 따른 탄화수소계 냉매를 이용한 히트펌프 성능에 관한 실험적 연구

김재돌* · 이호생† · 성광훈** · 정석권*** · 윤정인***

(원고접수일 : 2005년 10월 13일, 심사완료일 : 2005년 12월 21일)

An Experimental Study on Performance of Heat Pump System Using Hydrocarbon Refrigerants by Changing Indoor Load

Jae-Dol Kim*, Ho-Saeng Lee†, Gwang-Hoon Seong**, Seok-Kwon Jeong***, Jung-In Yoon***

Abstract : This study presents heat pump system characteristics using hydrocarbon refrigerants as alternative refrigerant for R-22 with respect to the variation of indoor load. Pure R-22 and R-290, R-600a, R-1270 were considered as working fluids. The experimental apparatus was constructed to investigate the performance of heat pump using the air as a heat source. The performance were calculated based on compression shaft work, refrigeration capacity, pressure ratio, discharge temperature and COP. The experimental results show that the COP and refrigeration capacity of hydrocarbon refrigerants were higher than that of R-22. Through the above, hydrocarbon refrigerants are good alternatives in the heat pump system for R-22.

Key words : Indoor load(실내부하), Coefficient of performance(성능계수), Heat pump(열펌프)

기호설명

P : 압력 [kPa]

PR : 압축비

Q : 열량 [kW]

T : 온도 [K]

W : 압축기 축동력 [kW]

하첨자

c : 응축기

e : 증발기

dis : 압축기 토출측

r : 냉매

1. 서 론

5대 산업의 하나로 성장하였고 그 비중이 더 커지고 있는. 전 세계 냉동공조산업은 크게 미주, 유럽, 아시아 시장으로 구분되고 있으며, 현재 전체

† 책임저자(부경대학교 대학원 냉동공조공학과), E-mail: purger77@pknu.ac.kr Tel: 051)620-1506

* 김재돌, 동명대학교 환경설비공학과

** 성광훈, 부경대학교 대학원 냉동공조공학과

*** 윤정인, 정석권, 부경대학교 기계공학부

시장 1,000억불 정도로 추산되고 있다. 이 냉동공조장치에 널리 쓰이고 있는 CFC계 냉매나 HCFC계 냉매는 몬트리올 의정서에 의한 오존층 파괴물질의 규제선언 이후 점차 HFC계열의 냉매나 혼합냉매로 대체되어 가고 있다.^[1] 그러나 HFC계 냉매의 경우 오존층파괴지수(ODP)가 0이지만 지구온난화지수(GWP)가 높고 화학적 합성물로 자연에는 여전히 이물질이며, 대기권에서 태양광선에 의해 분해되어 산과 독성 물질을 형성하는 것으로 보고되고 있다.^[2] 또한 혼합냉매는 본질적으로 다루기 어렵고 누설로 인한 성분비 변동과 재충전시 초기 성분비 재현이 힘들다는 어려움이 있기에 사용이 바람직하지 않다. 1994년 기후변화방지협약에 따라 HFC계 냉매 역시 단계적 감량 또는 사용금지 대상이 되어지고 있어 새로운 대체냉매의 개발이 시급해졌다. 따라서 새로이 개발되는 대체냉매는 지구 환경을 파괴하지 않으면서, 독성이 없고,^{[3],[4]} 가연성이 없으며, 기존의 냉매와 열역학적 성질이 비슷해야 한다. 이러한 관점에서 자연냉매 사용 필요성이 대두되고 있다. 이런 자연냉매로는 암모니아(NH₃), HC계(프로판, 부탄 등), 이산화탄소(CO₂), 질소(N₂), 헬륨(He), 물(H₂O), 공기 등이 있다. 특히 이들 중 HC(탄화수소)계 냉매는 사용이 간편하며, 기존의 냉동장치에서의 유통율과 잘 혼합하는 등의 장점이 있어 (H)CFC계 대체냉매에 가장 적합한 자연냉매로 평가받고 있지만 가연성의 문제로 유럽을 제외한 미국 및 일본 등 다른 선진국에서는 주목을 받지 못했다.

그러나 James의 보고서에 의하면 가정용 냉장고와 같은 소형냉동장치에서는 기존의 냉동기들이 밀폐식 압축기를 채용하고 있으므로 누설의 가능성이 적고, 기존 냉매에 비해 큰 비체적을 가지고 있어, 일반적인 CFC계 냉매의 절반 정도이므로 가연성에 의한 폭발의 위험은 거의 없는 것으로 밝혀졌다.^{[5],[6]} 대형 장치에도 적절한 환기 시스템 도입과 누설 감지기 등의 간단한 안전장치로 해결할 수 있는 것으로 보고되고 있다. 유럽에서는 hydrocarbon을 이용한 고효율 및 안정성을 갖춘 설치사례를 발표하였으며 특히 히트펌프 장비의 많은 부분을 탄화수소계 냉매로 신속히 전환하고 있어 히트펌프 시

스템에 대한 가장 큰 변화로 평가되고 있다. 이와 같이 지구 환경문제를 유발하지 않을 뿐 아니라, 시스템의 효율도 향상시켜야 하는 2중의 목적을 달성하고 기존의 냉매를 사용하던 냉동공조기와 동일한 용량과 효율을 얻기 위해서는 시스템의 최적화를 위한 재설계와 실험이 필요할 뿐 아니라 기존 시스템에서의 사용에 대한 연구도 병행되어야 한다. 이에 본 연구에서는 HCFC계 냉매인 R-22를 기본 작동유체로 한 공랭식 히트펌프 실증 장치를 제작하여 HC계 냉매인 R-290 (propane), R-600a (iso-butane) 및 R-1270 (propylene)로 작동유체를 변화시켜 각 냉매에 따른 히트펌프의 특성 및 성능 평가를 수행하여 HC계 냉매를 이용한 히트펌프 시스템의 설계에 필요한 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험장치는 탄화수소계 냉매용 공랭식 냉난방히트펌프 특성 및 성능 평가를 수행할 수 있도록 시스템부와 항온항습 챔버로 구성되어 있다.

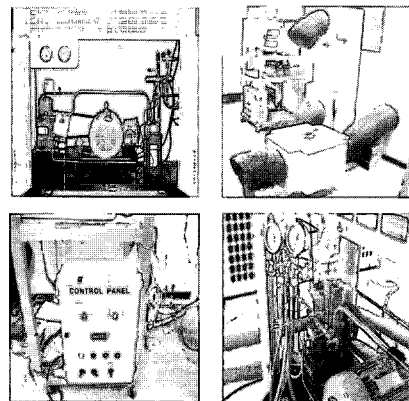


Fig. 1 The photographs of experimental apparatus.

Fig. 1과 Fig. 2 및 Fig. 3은 실험장치의 실제 사진과 개략도 및 실험에 사용된 계측 장비들을 나타내고 있다. 냉방모드에서 냉매는 압축기, 유분리기, 4-way 밸브, 응축기, 수액기, 냉매 질량유량

계, 수동식 팽창밸브, 증발기, 4-way 밸브, 액분리기, 압축기의 순으로 순환된다. 또, 일정 온도로 제어되는 기본 조건에서 성능을 평가할 수 있게 하기 위하여 실외기는 항온항습 챔버에서 공기를 공급받게 설치하였고 실내기는 입구 측에 댐퍼를 설치하여 시스템을 가동하였다. 난방모드에서 컨트롤 패널에 있는 냉난방 전환밸브를 통해 4방밸브로 인해 압축기를 제외한 각 열교환기로 이동하는 냉매 경로에 변화를 주어 신속하게 난방모드 전환할 수 있게 하였다. 또한 최대한 전 구간을 충분히 단열하였으며 외부와의 열교환은 무시하였다.

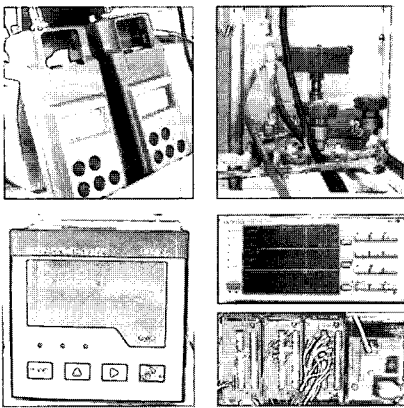


Fig. 2 The photographs of measuring instruments.

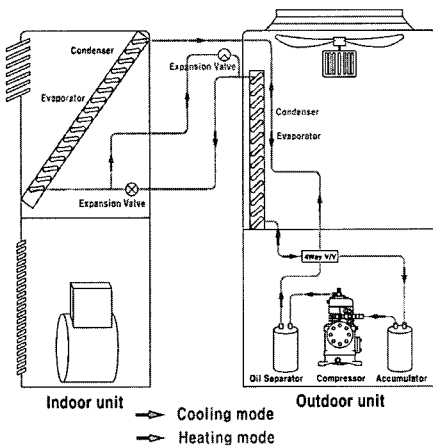


Fig. 3 Schematic flow diagram of experimental apparatus.

압축기는 BOCK사 R-22용 2기통 개방형 압축기로 정격 운전 모터를 사용하여 구동시켰으며, 파

워미터를 설치하여 압축기 일량을 측정하였다. 원활한 실험을 위해 유 분리기, 수동식 팽창밸브, 액분리기를 각각 설치하였다. 신속한 냉난방 모드 전환을 할 수 있게 하기 위하여 각 열교환기 출구 측에 4-way 밸브를 장착하였고, ABS사 냉매질량유량계를 각각 설치하여 운전하는 동안의 냉매유량을 측정하였다. 냉매 및 이차유체의 온도 측정을 위해 정밀 수은 온도계(오차 범위 : $\pm 0.2\%$)로 보정한 $\psi 0.1$ T형(Thermocouple)을 각 열교환기 입·출구 측에 설치하였고, $\psi 0.3$ Sheath형 T-type를 압축기, 응축기, 증발기 입·출구 측 관내에 삽입하였다. 이러한 센서들은 데이터 로거(Yokogawa사 MX100)를 통하여 PC에 전송, 처리하도록 하였다.

Table 1 Experimental conditions

Refrigerant	R-22, R-290, R-600a, R-1270	
Cooling mode	Indoor temp. [K]	293~300
	Outdoor temp. [K]	308
Heating mode	Indoor temp. [K]	285~295
	Outdoor temp. [K]	280

2.2 실험방법

실험은 먼저 항온항습 챔버와 댐퍼를 조정하여 한국공업규격(KS C 9306)에 의거한 실내·외 공기측 온도를 일정하게 유지한 후 냉매를 주입한다. Table 1은 실험조건을 나타낸다.

본 실험 사이클의 압력과 온도를 팽창밸브와 이차유체 풍량을 제어하여 실험 사이클이 기준 조건에 일치하도록 설정한 후, 2시간 이상의 평형상태로 유지 되는 정상상태가 되었을 때 압축기, 응축기, 증발기 입·출구 냉매 온도 및 압력, 냉매와 이차유체의 유량, 압축기의 입력 전력과 전압 등의 필요한 데이터를 1시간 정도 취득하였다.

3. 실험결과 및 고찰

실험장치의 신뢰성을 확인하기 위하여 Fig. 4와 같이 열평형을 검토하였다.

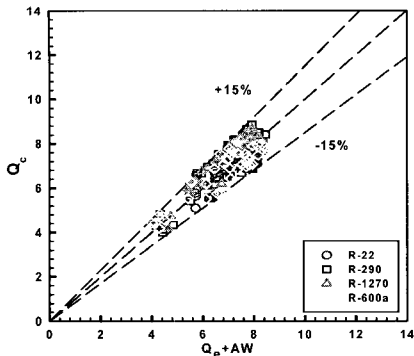


Fig. 4 Heat balance in the refrigeration and air-conditioning system

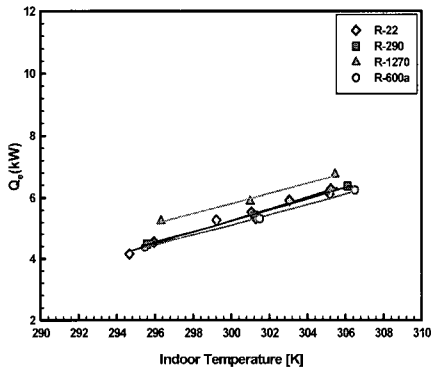


Fig. 5 The refrigeration capacity versus indoor temperature at cooling mode

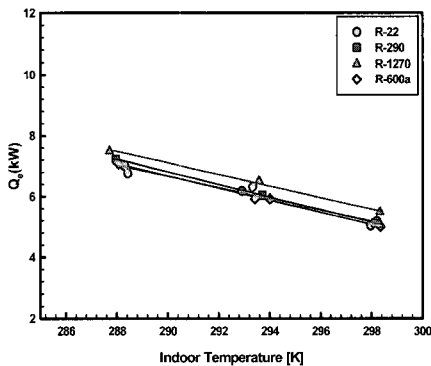


Fig. 6 The refrigeration capacity versus indoor temperature at heating mode

증발기 공기 유량과 압축기 온도차로 계산한 열용량 Q_e 와 압축일량 W 의 합이고, 세로축은 응축기 공기 유량과 압축기 온도차로 계산한 열용량 Q_c 이

다. 그림에서와 같이 오차범위는 냉매의 종류와 관계없이 $\pm 15\%$ 내외에서 거의 일치하였다.

Fig. 5와 Fig. 6은 실내 온도 변화에 따른 각 냉매의 냉동능력의 변화를 나타낸 것이다. 냉동능력은 냉방모드에서는 실외 온도가 증가함에 따라 증가하고 R-22에 비해 R-290과 R-600a는 거의 같고, R-1270은 평균 10%정도 높게 나타났으며, 난방모드에서는 실내온도가 증가 할수록 감소하는 경향을 보였으며, R-22에 비하여 R-600a는 약 1% 정도 낮은 경향을 보였으며, R-290은 1%, R-1270은 평균 약 7%정도로 가장 크게 나타났다.

Fig. 7과 Fig. 8은 각 냉매의 실외 내 온도 변화에 따른 압축기 축동력을 나타낸 것이다. 압축기는 증기 압축식 냉동공조장치에서 중요한 요소라고 할 수 있으므로 압축기 특성에 대한 고려는 반드시 필요하다.

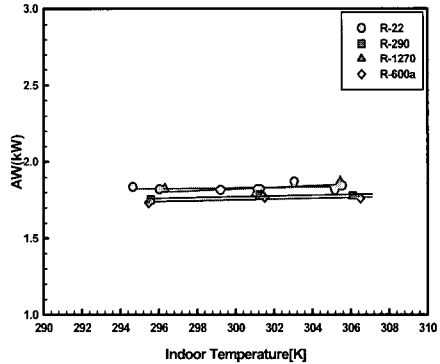


Fig. 7 Compressor work versus the indoor temperature at cooling mode

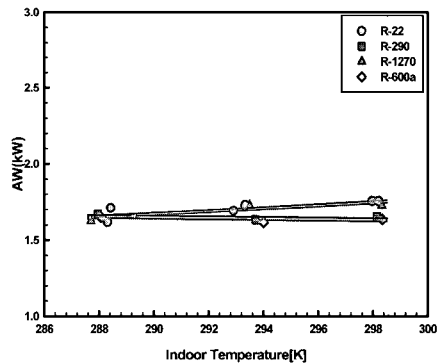


Fig. 8 Compressor work versus the indoor temperature at heating mode

그림에서와 같이 압축기 축동력은 실내 온도가 증가할수록 약간의 증가하는 경향을 보였으며, HC계 냉매가 R-22에 비해 낮은 경향을 나타내고 있는 것을 확인 할 수 있었다. 냉방모드시 기준 조건에서 평균 1~4%, 난방모드시 0.5~4% 정도 낮게 나타났다. 이는 R-22용 압축기를 사용함으로써 물성 값의 차이로 인한 현상으로 생각된다.

Fig. 9와 Fig. 10은 실내 온도 변화에 따른 실험 장치의 성능계수를 나타낸 결과이다. 실내 온도가 증가함에 따라 냉방모드에서는 증가 하였으며, R-600a는 약3%정도 낮게 측정되었으며, R-290과 R-1270은 4~10%정도 높게 나타났다.

난방모드에서는 실내 온도가 증가 할수록 감소 하였으며, R-22에 비해 R-600a가 평균 4%정도 낮게 측정되었으며, R-290과 R-1270은 약 3~7%정도로 높게 나타났다. 상기 결과는 R-1270냉매의 열 물성 값에 기인하는 결과로 판단된다.

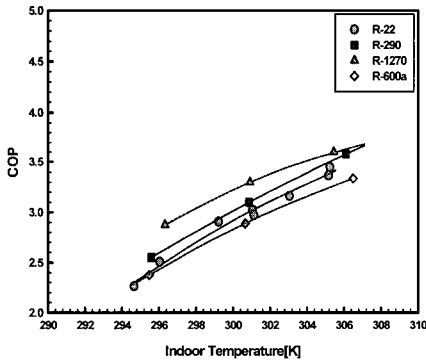


Fig. 9 The coefficient of performance versus indoor temperature at cooling mode

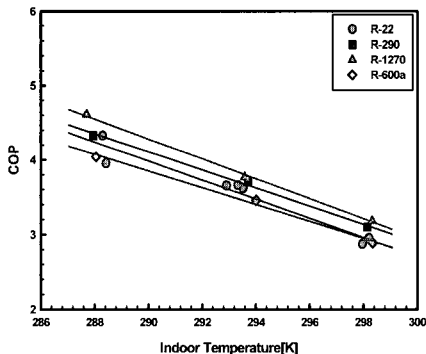


Fig. 10 The coefficient of performance versus indoor temperature at heating mode

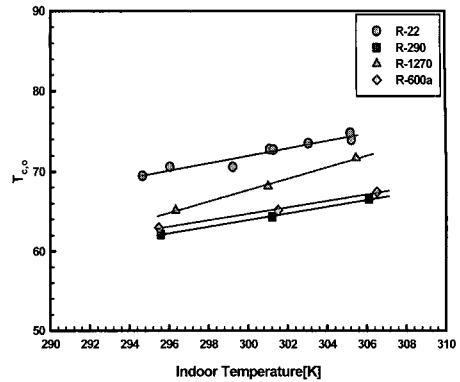


Fig. 11 The discharged temperature versus indoor temperature at cooling mode

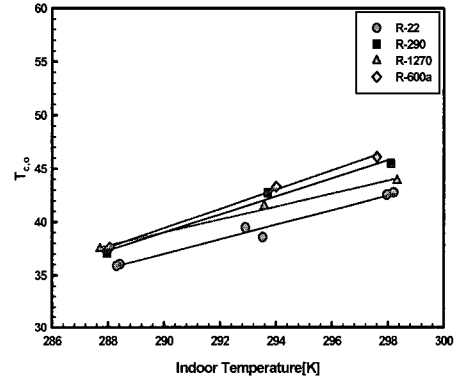


Fig. 12 The discharged temperature versus indoor temperature at heating mode

Fig. 11과 Fig. 12는 실내 온도에 대한 압축기 토출가스 온도를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 냉방모드시에는 R-22에 비해 R-290과 R-600a가 10~12%정도 낮게 나타났으며, R-1270은 약 16%정도 낮게 측정되었으며, 이에 반해 난방모드시에는 R-22에 비해 R-290과 R-600a약 4~6% 정도 높게 측정되었으며, R-1270은 약 8%정도 높게 측정되었다.

Fig. 13과 Fig. 14는 각 냉매 압축비의 변화를 실내 온도에 따라 나타낸 결과이다. 실내 온도가 증가할수록 냉방모드에서는 압축비는 감소하는 경향을 보였으며, HC계 냉매가 평균 20~27%정도 R-22에 비해 낮게 나타내었으나, 난방모드에서는 이에 반해 증가하는 경향을 보였으며, HC계 냉매가 평균적으로 약 20~21%정도 낮게 나타내었다.

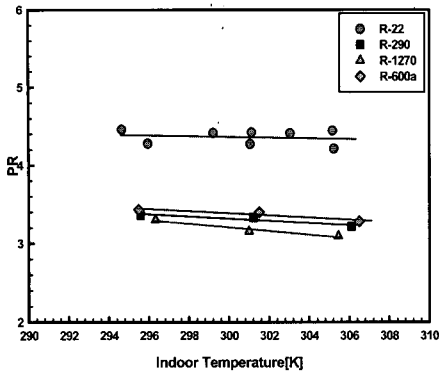


Fig. 13 The pressure ratio versus indoor temperature at cooling mode

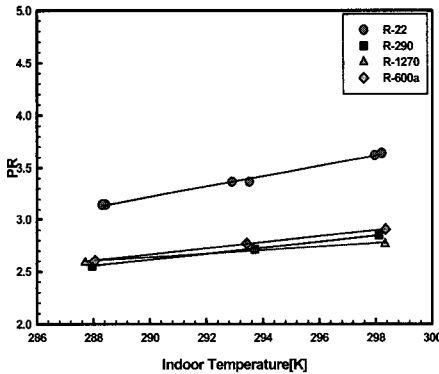


Fig. 14 The pressure ratio versus indoor temperature at Heating mode

4. 결 론

본 연구에서는 R-22의 대체냉매 후보라고 할 수 있는 자연냉매인 R-290, R-1270, R-600a의 히트펌프 시스템 성능 특성을 실험적으로 검토하여 보았으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 장치의 열평형을 검토한 결과 냉매의 종류에 관계없이 대체적으로 15%정도 내외로 거의 일치하며 비교적 열평형의 우수함을 확인 할 수 있었다.
2. 압축기 축동력은 실내 온도가 증가할수록 약간의 증가추세를 보였으며, HC계 냉매가 R-22보다 냉방모드에서 평균 1~4%, 난방모드에서는 평균 0.5~4%정도 낮게 나타남을 알 수 있었다.
3. 냉동능력은 실내 온도가 증가함에 따라 냉방모드시 증가하고 난방모드시 감소 하였다. R-290

과 R-600a는 R-22와 비슷한 양상이 보였고 R-1270은 평균 약 6~10%정도 크게 나타났다. 고온으로 갈수록 냉방모드는 증가폭이 조금 감소하는 경향이나 난방모드에서는 선형적으로 감소하여 R-22와 비슷한 경향을 나타내었다.

4. 성능계수는 냉동능력과 비슷한 경향을 실내 온도 변화에 따라 보이며 R-22에 비해 R-290, R-600a, R-1270이 냉방모드에서는 평균적으로 4%정도 난방모드에서는 3%정도로 나타났다. 이러한 결과들을 볼 때 HC계 냉매가 R-22의 대체 냉매로써 충분한 가능성이 있다는 것을 알 수 있었다.

후 기

이 논문은 2006년도 누리사업에 의하여 일부지원되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] E.I.du Pont de Nemours & CO. Ltd., Technical Report, 1989, Du Pont Alternative Refrigerants, Applications Testing of HCFC-123 and HFC-134a
- [2] Soloman, S. and Wuebbles, D., 1994, ODPs, GWPps, and future chlorine/bromine loading, Scientific Assessment of Ozone Depletion. pp. 131-136
- [3] Han, J.S., Youn, J.G. and Won, S.P., 1999, A study on performance characteristic of new alternative refrigerant replacing HFC-134a, The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Proceedings of the SAREK '99 Summer annual Conference(I), pp. 219-224
- [4] James, R. W. and Missenden, J. F., 1992, "The Use of Propane in Domestic Refrigerators", Int. J. Ref., Vol. 15, No. 2, pp. 95-100.

- [5] Kruse, H., 1993, "European Research and Development Concerning CFC and HFC Substitution." ASHRAE/NIST Refrigerants Conference, pp. 41-54.
- [6] Kim, M. S., Mulroy, W. J and Didion, D. A., 1993, "An Experimental Evaluation of the Flammability and Performance Potentials of Two Azeotropic Refrigerant Mixtures." Transport Phenomena in Thermal Engineering, pp. 446-451.



성광훈 (成光薰)

1979년생. 2006년도 부경대학교 기계공학부 냉동공조에너지전공 졸업. 현재 부경대학교 냉동공조학과 대학원 재학. 탄화수소계 냉매를 이용한 냉동공조 시스템의 성능특성에 대해 연구 중



정석권 (鄭碩權)

1961년생, 1983년 부산수산대학 기관학과 졸업. 1995년 일본 요코하마국립대학 대학원 전자정보공학과 졸업(공학박사), 현재 부경대학교 기계공학부 냉동공조전공 부교수.

저 자 소 개



김재돌 (金在堧)

1967년생, 1991년 부산수산대학교 냉동공학과 졸업, 1993년 부산수산대학교 대학원 냉동공조학과 졸업(공학석사), 1996년 동대학원 졸업(공학박사), 현재 동명대학건축기계설비시스템과 조교수.



윤정인 (尹政仁)

1962년생, 1988년 부산수산대학교 냉동공학과 졸업, 1990년 부산수산대학교 대학원 냉동공학과 졸업(공학석사), 1995년 동경농공대 대학원 졸업(공학박사), 현재 부경대학교 기계공학부 냉동공조전공 부교수.



이호생 (李虎生)

1975년생, 2000년도 부경대학교 냉동공조공학과 졸업. 2002년도 부경대학교 대학원 냉동공조공학과 졸업(공학석사), 현재 동 대학원 냉동공조공학과 박사과정.