

탄화수소계 냉매 R-290을 사용하는 냉동·공조 장치의 사이클 특성에 관한 연구

박승준* · 박기원** · 노건상*** · 권옥배**** · 오후규*****

Cycle performance of refrigeration and air-conditioning system using the hydrocarbon refrigerant R-290

S. J. Park · K. W. Park · G. S. Rho · O. B. Kwon · H. K. Oh

Key words : Alternative refrigerant(대체냉매), Natural refrigerant(자연냉매), Heat pump(열펌프), Cycle performance(사이클특성)

Abstract

This paper describes the cycle performance of heat-pump system using R-22 and R-290. Experiments were performed in the smooth tube with inside diameter of 10.07 mm and outside diameter of 12.07 mm and grooved inner tube having 75 fins with a height of 0.25 mm. Condensing temperatures were held constantly between 318 K and 328 K, while evaporating temperatures were varied from 257 K to 288 K, mass velocities from 51 to 280 kg/m²s.

From the experiments it was known that the evaporating temperature and condensing temperature had more affected by the compressor shaft power than the tube geometries. Cooling capacity of the R-22 and R-290 had similar values in the smooth and grooved inner tubes. The coefficient of performance(COP) was calculated using the compressor shaft power, volumetric refrigeration capacity, compression ratio and cooling capacity. The COP of the R-290 had slightly higher values than that of R-22. The major parameters affecting the heat pump cycle performance were the refrigerant properties and operating conditions rather than the geometric shapes of the heat exchanger

* 부경대학교 대학원 냉동공학과(원고접수일 : 99년 1월)

** 여수대학교 냉동공학과

*** 동명대학교 가스냉동과

**** 한국가스공사

***** 부경대학교 냉동공조공학과

기호설명

- COP : 성능계수
- PR : 압축비(= P_c/P_e)
- Q : 열용량, kW
- T : 온도, K
- W : 압축일(축동력), kW

아래첨자

- c : 응축기
- dis : 압축기 토출가스
- e : 증발기
- VCR : 체적냉동용량

1. 서 론

오늘날 에너지 소비가 급증함에 따라 많은 양의 탄산가스(CO₂)가 방출하게 되어 지구환경에 미치는 영향도 커지고 있다. 또한 현재 대부분의 냉동·공조장치에서 작동유체로 사용되고 있는 CFC계 및 HCFC계 물질은 지구의 오존층을 파괴하는 등 생태계를 위협한다는 보고가 있다.¹⁾ 이에 따라 이들 물질로부터 지구환경을 지키기 위한 국제적 협의²⁾에 의해서 이들 물질의 생산 및 소비를 규제하고 있다. 따라서 현재 냉동·공조장치에서 많이 사용되고 있는 HCFC계 냉매인 R-22를 대체할만한 냉매로서 프레온계 혼합냉매를 제안하기도 하였지만³⁾⁻⁶⁾, 최근에는 유럽을 중심으로 부탄, 프로판 등과 같은 탄화수소계 자연냉매의 사용을 권장하는 추세도 있다⁷⁾⁻⁹⁾. 그러나 이들 자연냉매에 의한 냉동·공조장치의 성능에 관해서는 아직 그다지 밝혀져 있지 않을 뿐만 아니라 전열관의 형태 등에 따른 연구는 대단히 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 자연냉매를 사용하는 열펌프의 성능을 규명함으로써 시스템의 최적설계에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다. 이를 위해서 작동유체로는 현재 냉동기, 에어컨 등에서 광범위하게 사용되는 HCFC계 냉매인 R-22와 그 대체냉매로 가장 유력시되고 있는 탄화수소계 자연냉매인 R-290(propane, 순도 99.5%)을 사용하여, 증발온도, 응축온도 등에 따른 압축기 축동력,

냉각능력, 성능계수 등을 파악하여 열펌프의 사이클특성을 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig.1은 본 연구에서 사용한 실험장치의 개략도인데, 장치는 물을 열원으로 하는 증기압축식 열펌프사이클로 구성하였다. 실험에 사용되는 압축기는 R-22용 2기통 왕복동식이며, 흡입배관에는 흡입가스 온도조절기를 설치하여 압축기로 흡입되는 냉매가스의 온도를 일정하게 유지하였다. 응축기와 증발기는 내관으로 냉매가 흐르고, 내관과 외관사이의 환상부로 열원수가 냉매와 반대방향으로 흐르는 동심 2중관형 열교환기이다. 열교환기 내관은 평활관과 내면핀관의 2가지로 하였으며, 외관은 내경 45 mm, 외경 50 mm인 PVC관으로 하였다. 평활관 열교환기는 길이 350 mm인 8개의 소구간을 먼저 설치하고, U-벤드를 지난 출구측에 길이 1550 mm인 2개의 구간을 추가로 설치하였으며, 내관은 내경 10.07 mm, 외경 12.07 mm인 동관으로 하였다. 그리고 내면핀관 열교환기도 길이 350 mm인 6개의 소구간과 1130 mm인 2개의 구간을 설치하였으며, 내관은 외경 12.70 mm, 관의 저면두께 0.40 mm인 동관으로, 관 내측에는 높이 0.25 mm, 나선각 18°, 정각 40°인 핀이 75개 설치되어 있다. 또, 열교환기는 전체를 글레

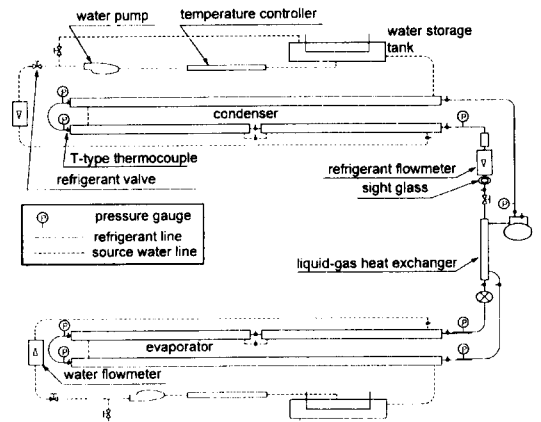


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

스올로 충분히 단열해서, 외기와외의 열교환은 무시할 수 있도록 하였다. 팽창기구로는 모세관과 수동, 온도식 자동팽창밸브의 3가지를 사용하여 냉매유량과 증발온도를 적절히 조절하였다.

본 실험에서는 압축기, 응축기, 증발기에서의 온도, 냉매와 열원수의 유량, 압축기의 입력전력과 전압 등을 측정하였다. 냉매유량계를 응축기 출구측에, 열원수유량계를 응축기와 증발기 출구측에 설치하였다. 그리고 열원수온도를 측정하기 위한 T형 열전대는 관길이에 따라 등간격으로 구분된 소구간마다 설치하였다.

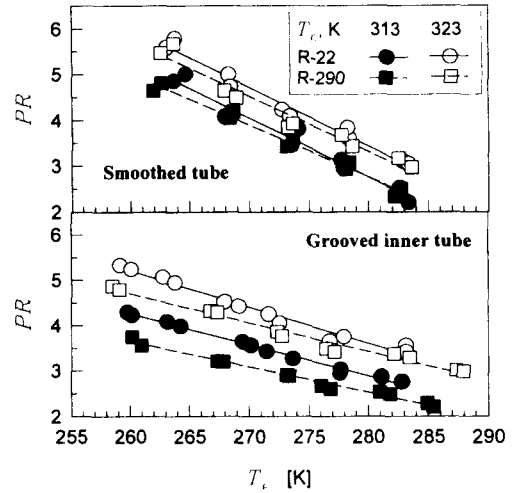
주요 실험조건은 응축온도 313~323K, 증발온도 258~288K, 냉매질량유속은 R-22의 경우 51~273kg/m²s, R-290은 60~280kg/m²s이다.

3. 열펌프 사이클특성

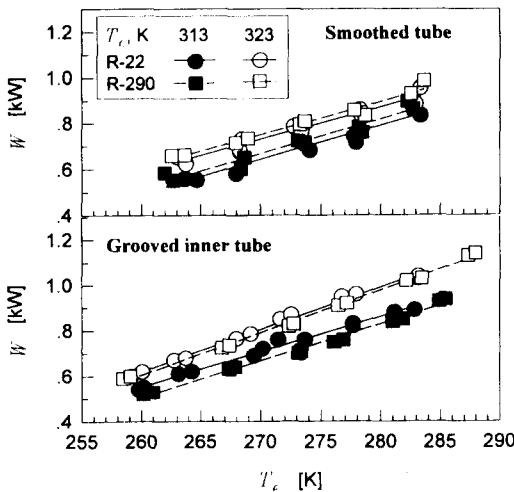
3.1 압축기 축동력

Fig.2(a)는 증발온도에 따른 압축기 축동력을 나타낸 것으로서, 축동력은 장치가 정상상태에서 운전되는 동안 압축기 입력전력과 전압으로 산출하였다. 그림에서와 같이 증발관의 형상에 관계없이 압축기 축동력은 증발온도와 응축온도가 증가함에 따라 증가하였고, R-290은 R-22보다 평활관 일 경우 11~12% 정도 축동력이 높았지만, 내면핀 관에서는 오히려 2~5% 정도 낮았다. 이는 R-290의 증기 비체적이 R-22보다 상대적으로 큰 것에 의한 영향때문이라 생각된다.

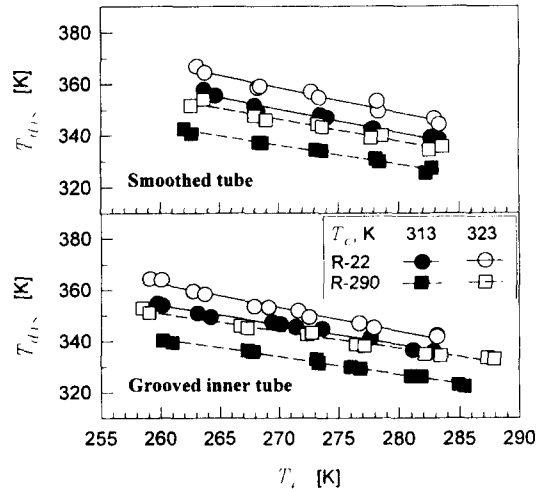
그리고 압축기 축동력에 크게 영향을 미치는 압축비 PR는 Fig.2(b)에서와 같이 증발온도의 증가에 따라서는 감소하였고, 응축온도가 증가함에 따라



(b) pressure ratio



(a) compression power



(c) discharged temperature

Fig. 2 Variation of the compressor performances to evaporating temperature.

라서는 증가하였다. 그러나 R-290의 압축비는 R-22보다 평활관인 경우 1~4% 정도 낮았고, 내면편관에서도 6~13% 정도 낮았다. 따라서 압축비는 R-22가 R-290보다 높게 되고, 평활관보다 내면편관에서 압축비가 더욱 크게 나타나고 있었다.

또, 압축기 토출가스온도 T_{dis} [K]는 Fig.2(c)에서와 같이 증발온도가 증가할수록 거의 선형적으로 감소하였다. 그러나 응축온도가 증가함에 따라서는 약간 증가하였지만, 그다지 영향을 받지 않았다. 또, 평활관인 경우에 R-290의 토출온도는 R-22보다 8.5K 정도 낮았고, 내면편관인 경우에도 R-290의 토출온도가 R-22보다 4~6K 정도 낮게 나타났다. 따라서 압축기 토출가스온도는 전 열관의 형태, 응축온도, 증발온도 등의 영향을 복합적으로 받기는 하지만, 이들의 영향이 그다지 크게 미치는 것은 아닌 것으로 판단된다.

3.2 냉각능력

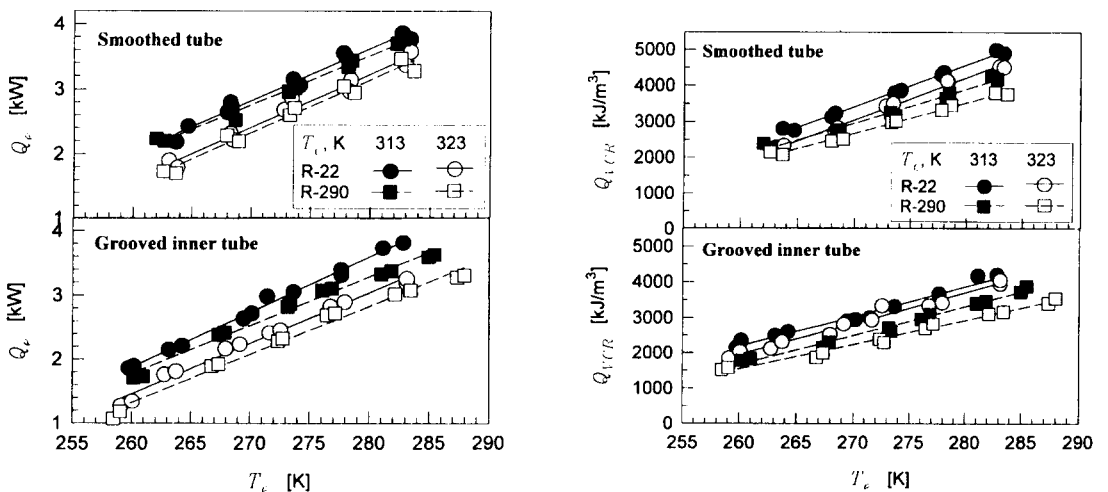
Fig.3(a)는 냉각능력 Q_c [kW]를 나타낸 것인데, 냉각능력은 증발기에서 순환되는 열원수의 유량과 입 출구온도차로부터 구하였다. 그림에서와 같이 냉각능력은 증발온도의 증가에 따라 매우 크게 증가하였지만, 응축온도가 증가함에 따라서는 오히려 감소하였다. 그리고 평활관인 경우 R-290

의 냉각능력은 R-22에 비해 3% 정도 낮았고, 내면편관인 경우에도 R-290이 R-22에 비해 약 8% 정도 낮게 나타났다. 따라서 열교환기의 종류에 관계없이 냉각능력은 R-22가 R-290보다 높고, 응축온도나 증발온도의 변화에 따른 영향을 강하게 받는 것을 알 수 있다.

그리고 증기의 단위체적당 증발기로부터 제거되는 체적냉동능력 Q_{VCR} [kJ/m^3]은 Fig.3(b)에서와 같이 증발온도의 증가에 따라 증가하였는데, 이는 증발온도가 상승되면서 증기의 밀도가 증가하여 단위체적당 냉매순환량이 증가하기 때문이라 생각된다. 그러나 응축온도가 증가함에 따라서는 감소하였다. 또, R-290의 체적냉동능력은 R-22보다 평활관인 경우 약 14% 낮았고, 내면편관에서는 약 17~21% 낮았다. R-290의 증발온도, 임계온도 등과 같은 열역학적 성질은 R-22와 거의 동일한데도 이러한 결과가 나타난다는 것은 시스템을 구성할 때 압축기 등과 같은 장치의 중요기기를 선택하는 데 있어서 하나의 문제점이 된다는 것을 보여줌을 알 수 있다.

3.3 성능계수

Fig.4는 증발온도에 따른 장치의 성능계수 COP를 나타내었는데, 성능계수는 냉각능력과 압축기



(a) Cooling capacity

(b) refrigerating volumetric capacity

Fig. 3. Variation of the cooling performances to evaporating temperature.

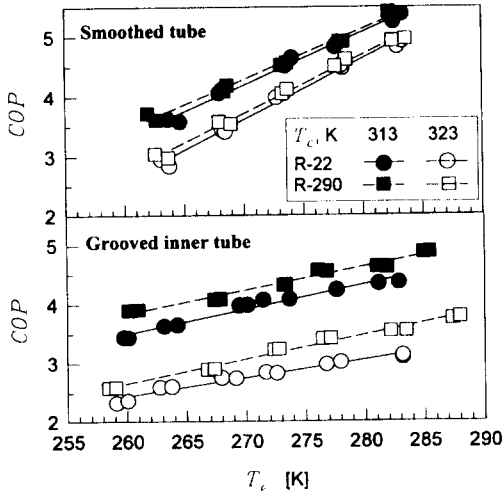


Fig. 4 Variation of the coefficient of performance to evaporating temperature.

축동력으로부터 계산하였다. 그림에서와 같이 증발온도가 증가할수록 성능계수가 크게 증가하였지만, 응축온도가 증가함에 따라서는 크게 감소하였다. 그리고 평활관이나 내면핀관 어느 관에서나 R-290의 성능계수가 R-22보다 훨씬 높게 나타났다. 따라서 성능계수의 측면에서만 살펴본다면 R-290은 R-22의 대체냉매로써 충분한 능력을 갖추고 있다고 할 수 있을 것이다.

결 론

탄화수소계 냉매 R-290을 사용하는 냉동·공조 장치의 사이클 특성에 관한 실험 결과를 정리하면 다음과 같다.

증발온도가 증가할수록 압축비는 감소하였지만, 압축기 축동력, 체적냉동능력, 압축기 토출가스온도는 증가하였는데, 특히 냉각능력과 성능계수가 크게 증가하였다. 그리고 토출가스온도와 평활관을 사용할 때의 축동력은 응축온도에 큰 영향을 받지 않았지만, 응축온도의 증가에 따라 압축비와 내면핀관을 사용할 때의 축동력은 증가하였고, 체적냉동능력, 냉각능력, 성능계수는 감소하였다. 또, 체적냉동능력과 압축비, 토출가스온도, 내면핀관에서의 축동력은 R-22를 사용할 때 높았지만, 냉각능력은 R-290과 R-22는 거의 같게 나타났다

으며, 성능계수는 R-290을 사용할 때 크게 나타났다.

R-290의 사이클특성은 R-22와 큰 차이를 보이지 않았고, 특히 성능계수에서는 오히려 우수한 것은 물론 R-290은 환경친화적 자연냉매이므로 R-22의 대체냉매로써 사용될 수 있을 것으로 판단되나, 중·대규모 냉동장치에 적용하고자 할 경우에는 실용화에 앞서 보다 많은 데이터의 축적이 요망된다.

후 기

본 연구는 한국과학재단의 지원에 의한 포항공과대학 AFERC의 지원으로 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다

참고문헌

1. Molina, M.J. and Rowland, F.S., 1974, "Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Atom Catalyzed Destruction of Ozone", *Nature*, Vol. 249, pp. 810~814.
2. UNEP, 1992, "Report of the Fourth Meeting of the Parties to the Montreal Protocol on that Deplete the Ozone Layer", OzL. - Pro. 4/15
3. 박기원, 오후규, 1994, "비공비 혼합냉매를 이용한 열펌프의 냉난방성능에 관한 연구", *한국박용기관학회지*, Vol. 18, No. 4, pp. 53~61.
4. Shiflett, M.B., Yokozeki, A. and Bivens, D.B., 1992, "Refrigerants as HCFC-22 alternatives", *Pro. 1992 Int. Ref. Conf. - Energy Efficiency and New Refrigerants*, Purdue University, July, pp. 35~44.
5. Radermacher, R. and Jung, D., 1991, "Theoretical Analysis for Replacement Refrigerants for R-22 for Residential Uses", *U.S. EPA Report*, US EPA/400/1-91/041.
6. Spatz, M., Logsdon, P., Wijaya, H. and Zheng, J., 1992, "Performance of HCFC-22 Alternative Refrigerants in Air-Conditioning Equipment", *Int. CFC & Halon Alternatives Conf.*, Washington D.C.
7. Billy, Y.L., Marie-Kouise, T. and Reinhard, R., 1995, "Experimental Results with Hydrocarbon

Mixtures in Domestic Refrigerator/Freezer", ASHRAE Trans., CH-95-24-1, pp.1415~1421.

8. Richardson,R.N. and Butterworth, J.S., 1995, "The Performance of Propane/Isobutane Mixtures in a Vapour-Compression Refrigeration

System", Int.J.Ref., Vol.18, No.1, pp. 58~62.

9. Halozan,H., Ebner,T. and Lawatsch,H., 1994, "Propane-A Realistic Alternative", Ins.Ther.Eng. Graz Univ. of Technology, pp.331~338.

저 자 소 개



박승준(朴承俊)

1971년 12월생. 1996년 여수수산대학교 냉동공학과 졸업. 1998년 부경대학교 대학원 냉동공학과 졸업(석사). 현재 부경대학교 대학원 냉동공학과 박사과정 재학중

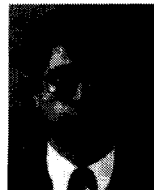
권옥배(權沃培)

1961년생. 1991년 부산수산대학교 공대 냉동공학과 졸업. 1993년 동대학원 냉동공학과 졸업(석사). 1997년 동대학원 냉동공학과 졸업(박사). 현재 한국가스공사 이용기 연구구실 연구개발원



박기원(朴基元)

1960년 1월생. 1983년 부산수산대학교 공대 냉동공학과 졸업. 1985년 동대학원 냉동공학과 졸업(석사). 1993년 동대학원 냉동공학과 졸업(박사). 현재 여수대학교 냉동공학과 부교수 재직중



오후규(吳厚圭)

1947년 10월생. 1975년 부산수산대학교 공대 식품공학과 졸업. 1977년 동대학원 냉동공학과 졸업(석사). 1983년 일본 와세다대학교 기계공학과 졸업(박사). 현재 부경대학교 공대 냉동공조공학과 교수 재직중.



노건상(盧健尙)

1966년 6월생. 1990년 부산수산대학교 공대 냉동공학과 졸업. 1992년 동대학원 냉동공학과 졸업(석사). 1997년 동대학원 냉동공학과 졸업(박사). 현재 동명대학교 가스냉동과 전임강사 재직중