

냉동공조용 대체냉매의 선정 및 적용시의 문제점과 대책(Ⅱ)

한국해양대학교
냉동공조공학과
김용찬

목 차

1. 서 언
2. 냉매의 분류 및 환경문제
3. 대체냉매의 선정
4. 대체냉매 적용시 문제점 및 대책(연재)
5. 결 언

4. 대체냉매 적용시 문제점 및 대책

현재 사용하고 있는 CFC 및 HCFC계의 냉매가 오존층 파괴 및 지구온난화 효과에 상당한 영향을 미치는 것으로 판명되어 사용이 규제되기 때문에 새로운 냉매를 개발하는 연구가 강도 깊게 수행되었고 여러 가지의 대체 가능 냉매가 개발되었다. 개발된 대체냉매가 갖고 있는 열역학적 및 물리 화학적 성질이 기존의 냉매와 다르므로 대체냉매가 적용되는 냉동시스템은 새로운 냉매의 특성에 따라 설계를 변경하여야 한다. 이를 위하여 대체냉매의 적용기술에 대한 연구를 수행하여야 하며, 냉동 및 열펌프 시스템을 각 부품별로 나누어 여러 대체 가능냉매의 사용시의 특성을 연구하여 가장 적합한 냉매를 선택하고 부품의 설계에 필요한 자료를 얻어야 한다. 본 절에서는 이미 발표된 몇가지의 대체냉매 적용시의 문제점 및 대책에 대하여 고찰해 보고자 한다.

제일 먼저 고찰할 내용은 냉매주입량(refrigerant charge) 및 팽창장치 크기의 선택이다.

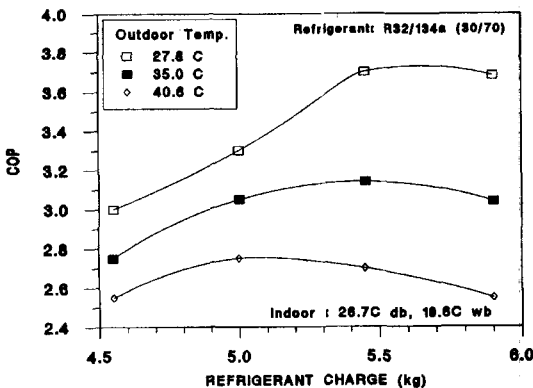
Pannock 등은 기존의 냉장고(18ft³)에 팽창장치

인 capillary tube의 길이 및 냉매주입량을 바꾸어 가면서 실험(냉매 : R-152a 및 R-134a)하여 에너지소비량이 최소가 되는 최적의 capillary 길이 및 냉매주입량을 결정하는 연구를 수행하였다. 이 결과 R-134a의 경우는 capillary tube의 길이가 213cm이고 냉매주입량이 200g 일 때 에너지소비량이 1.83kWh/day로 최소였으며, R-152a의 경우는 길이가 550cm이고 냉매주입량이 120g일 때 1.79kWh/day의 에너지 소비량을 나타냈다. 그리고 두 냉매 모두 냉매주입량이 적거나(under charge) 또는 과다한 경우(over charge)에너지 소비량이 증가되었다. 이와 같은 성향은 스크롤 압축기를 사용한 열펌프(용량 : 10.6kW, 냉매 : 32/134a (30/70))에서도 찾아 볼 수 있다. 표 4 및 그림 2는 팽창장치로 short tube orifice를 사용하고 있으며, 오리피스 직경과 냉매주입량을 변화시키며 실험한 결과이다. 오리피스 직경이 1.96mm이고 냉매주입량이 5.4kg일 때 시스템의 성능(COP)이 최대가 되며 이 조건에서 벗어나면 COP가 감소하고 있다. 그러므로 대체냉매를 선정한 후 시스템과 냉매에 맞는 최적의 팽창장치 크기 및 냉매주입량을 선정하여야 시스템의 효율을 높일 수 있다. 최적의 냉매를 시스템에 주입(charge)했지만 냉매가 누설 되면 최적 주입량에 비하여 전력소비가 증가되고 시스템이 동일한 냉각효과를 얻기 위하여 오래 작동된다. 그러므로 시스템의 누설을 방지하기 위한 적절한 조치가 필요하다. 현재 CFC생산의 60%는 누설 된 CFC를 재충전하기 위하여 생산되고 있는

실정이다.

비공비 혼합냉매(NARMs)를 사용하면 등압에서 증발이 일어날 때 온도가 상승하고 반대로 등압응축 과정에서는 온도가 감소된다. 즉, 포화액체에서 포화기체상태로 변할 때 냉매의 온도구배(temperature gliding)가 생기게 된다. 이와 같은 현상을 이용하면 열교환기의 열효율을 개선시킬 수 있다. 그림 3에 나타낸 것처럼, 순수냉매의 경우에는 한쪽 끝에 냉매와 열원의 온도가 거의 같은 점이 생기고(pinch point) 반대쪽에는 온도차가 굉장히 크므로 열교환 시 비가역성이 커지며 손실일이 많아진다. 하지만 비공비 혼합물은 냉매와 열원간의 온도가 평형이 되게 할 수 있고 평균온도차가 줄게 되어 비가역성이 감소되며 효율을 향상시킬 수 있다. 이렇게 유체의 흐름을 서로 평형하게 하려면 대향류(counter flow) 열교환기가 필요하다. 기존에 사용하고 있는 열교환기는 직향류(cross flow) 열교환기가 대부분이며 공기-대-냉매의 열교환에서 완전 대향류 열교환기를 설계하는 것은 어렵다. 대향류 열교환기에 접근하기 위해서 counter-cross형의 열교환기에서 코일의 row를 증가시켜야 한다(그림 4). 이때 열교환기의 공기쪽에서 압력강하가 증가되므로 공기유량이 감소하게 되고, 공기유량의 감소를 줄이기 위하여 Fan의 소비동력이 증가된다.

그림 1 냉매주입량의 변화에 따른 시스템 성능 (COP)의 변화



그러므로 열교환기설계시 두 효과를 고려한 최적의 설계가 필요하다. 그런데 어차처럼 물-대-냉매의 열교환에서는 이중관식 열교환기를 사용하면 쉽게 대향류 열교환기를 만들 수 있다.

비공비 혼합 냉매의 문제점은 혼합물 조성비의 변화이다. 혼합냉매가 시스템을 흐를 때 액상 및 기상의 변화에 따라 혼합물 조성이 변하며 극한 운전조건에서는 설계된 조건으로부터 벗어나게 되고 시스템이 불안정해지며 효율의 저하를 가져올 것이다. 또하나의 문제점으로는 냉매가 누설되었을 때 증기압이 높은 성분이 먼저 누설되므로 새로운 조성비를 갖는 냉매가 시스템에 존재하게 된다. 냉매의 재충전은 시스템이 일정조성비를 갖도록 하기 위하여, 기존의 냉매를 방출한 후 새로운 냉매를 주입하여야 한다. 비공비 혼합물은 항상 액체상태에서 주입하여야 시스템이 표준조건의 조성비를 갖을 수 있다. 이러한 조성비의 변화가 하나의 증발기 및 응축기가 있는 경우에는 큰 문제가 없지만 여러개의 증발기가 있는 분리형 시스템(split system)에서는 시스템의 운전이 불안정해질 수 있으므로 공비 혼합물을 사용하여야 한다. 비공비 혼합물을 열펌프에 적용할 때, 난방운전시에는 온도구배(temperature gliding)때문에 outdoor coil에 쉽게 서리를 맺히게 하며 냉방운전시에는 제습을 향상시킬 수 있다.

비공비 혼합냉매인 R32/125를 사용할 경우 시스템의 압력이 R-22에 비하여 10기압 정도 증가하므

표 1 오리피스 직경에 따른 열펌프의 성능변화 *

오리피스 직경 (mm)	Total Capacity (kW)	Total Power (kW)	COP
1.64	7.8	2.844	2.75
1.78	8.4	2.883	2.93
1.96	9.3	2.947	3.16
2.07	9.2	2.947	3.14

* 운전조건: 3 ton unit, 냉매 R32/134a (30/70), 외기온도 35 C db, 냉매주입량 5.4kg

그림 2 비공비혼합냉매 사용시 냉매와 공기의 온도차

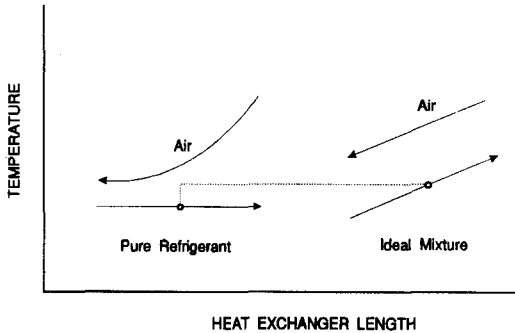
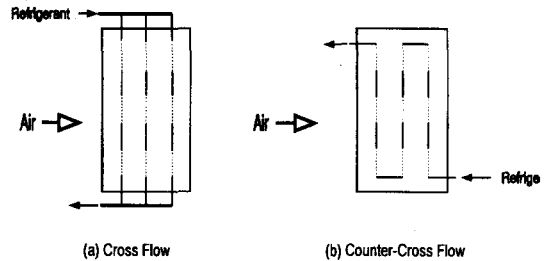


그림 3 비공비혼합냉매 사용시의 열교환기의 설계



로 현재의 압축기는 높은 압력 및 높은 배어링부하에 견딜 수 있도록 설계하여야 한다. 그리고 열교환기는 높은 압력 및 낮은 체적유량에 맞도록 circuiting을 변화시키고 튜브의 직경은 줄이고 두께는 두껍게 조절하여 열교환기 크기 및 성능의 평형을 맞춰야 한다. 현재의 시스템에 R32/125의 혼합냉매를 넣어 실험했을 때 높은 압력으로 인한 누설의 문제는 없었으며 시스템 내의 조성비가 일정하여 취급이 용이하였다.

오일은 압축식 냉동시스템에서 압축기의 윤활을 위하여 필요하다. 현재 R-12, R-22는 Paraffin계 mineral oil 또는 Alkylbenzene을 사용하고 있는데 대체냉매인 HFC계의 냉매는 수소를 포함하고 있어 극성을 가지며 염소를 포함하고 있지 않으므로 기존의 오일과 잘 용해되지 않아 윤활성이 떨어진다. 그러므로 극성의 합성 윤활유인 PAG(자동차 에어컨에 사용) 또는 Polyol Ester(냉장고 및 혼합냉매에 적용)를 사용하여야 한다. 이때 각냉동 장치의 용도 및 냉매에 맞는 점도를 선택하여야 한다. 그리고 motor의 재료, O-ring, gasket, flexible hose 및 paint와 냉매 및 윤활유와의 compatibility를 확인하여야 한다. 또한 대체냉매의 구조 및 분자경이 기존의 냉매와 다르므로 냉매에 적절한 새로운 건조재의 개발이 필요하다.

냉동 및 냉장어창에서 대체냉매 적용시 시스템

효율을 증가시키기 위해서는 먼저 단열재의 효율을 향상시켜야 한다. 현재의 foam 단열은 R-11의 사용규제로 인하여 사용이 규제되므로 새로운 단열방법을 생각해야 한다. 새로운 단열 방법으로 제기되고 있는 것이 진공단열이다. 진공 단열도 여러 방법이 있지만 현재 연구되고 있는 방법은 다음과 같다: (1) gas filled panel (GFPs), (2) vacuum powder, 그리고 (3) compact vacuum insulation (CVI). 두번째로는 열손실 등을 고려하여 실제 필요한 냉동 및 냉장부하를 계산하여 시스템의 크기를 적절히 설계함으로써 부분부하운전에서 오는 효율손실을 줄여야 한다. 그리고 냉동 및 냉장을 같이하는 경우는 비공비 혼합냉매를 적용하고 두 개의 열교환기를 사용하여 설계조건에 맞는 냉장 및 냉동온도를 얻어 시스템의 효율을 개선시킬 수 있다.

그리고 많은 냉각부하가 냉동 및 냉장 어창의 문의 가스켓부근의 손상 및 밀폐의 부족에서 생기므로 이를 개선시킬 수 있는 방안의 강구가 필요하다.

5. 결 언

현재 사용되고 있는 냉매의 소비량이 연차적으로 감소됨으로서 극심한 냉매량 부족에 직면하게 되며 냉매의 가격은 급등하여 장비의 공급 지연 및 부품공급이 중단되어 제품을 생산할 수 없는 상황이 올 수 있다. 그러므로 대체냉매의 문제를 극복하기 위해서는 정부, 업체, 학계 및 연구소로 구성

된 연구진에 의한 효과적인 대처 및 연구가 필요하다. 본 원고에서는 현재 사용되고 있는 냉매의 환경적 규제의 요인과 규제 일정에 대하여 살펴 보았으며, 이를 대체할 수 있는 대체 가능냉매에 대하여 알아보았다. 그리고 현재 알려져 있는 대체냉매 적용시의 문제점 및 대책에 관하여 간략히 고찰하였다. 앞으로 AREP를 중심으로 혼합냉매에 대한 많은 연구가 진행될 것이며 1995년경에는 R-22 및 R-502의 대체냉매가 결정되고 이들을 사용하는 시스템이 판매될 것으로 예상된다. 현재의 규제 일정이 점차 강화되고 가속화되고 있는 실정에서, 본 논문의 내용이 냉매규제에 대한 연구의 방향 설정에 참고자료가 되었으면 한다.

참 고 문 헌

- (1) Hickman, K.E., "Redesigning equipment for R-22 and R502 alternatives", ASHRAE Journal, pp. 42-47, Jan. 1994.
- (2) Kim, Y. and O'Neal, D. L., "An experimental study of two-phase flow of HFC-134a through short tube orifices", Heat Pumps and Refrigeration Systems Design, Analysis and Applications, ASME, AES-Vol. 29, pp. 1-8, 1993.
- (3) Kim, Y., Payne, W.V., and O'Neal, D. L., "Two-phase flow of refrigerant mixtures through short tube orifices", Report ESL/TR-93/CA-01, Energy Systems Laboratory, Texas A&M University, United Technology-Carrier Corp., 1993.
- (4) Kruse, H., "The advantages of nonazeotropic refrigerant mixtures for heat pump applications", Int. J. of Refrigeration, Vol. 4, pp. 119-125, 1981.
- (5) McLinden, M. and Didion, D., "Quest for alternatives", ASHRAE Journal, pp. 32-42, 1987.
- (6) Miro, C.R. and Cox, J.E., "Global environment policies enter critical phase in the near-future", ASHRAE Journal, pp. 14-15, March 1994.
- (7) Pannock, J., Radermacher, R., Liu, Z., and Yu, K., "Evaluation of R-134a and R-152a as a working fluids in a domestic refrigerator/freezer", ASHRAE Transactions, Vol. 100, Part 1, 1994.
- (8) R-22 Alternative Refrigerants Evaluation Program (AREP), Participants' Handbook, ARI, Nov. 1992.
- (9) Shiflett, M.B. and Yokozeki, A., "Near-azeotropic refrigerant as alternatives for R-502", ASHRAE Journal, pp. 24-28, Feb. 1993.
- (10) Symposium to Evaluate R32 and R32 Mixtures in Refrigeration Applications by US Environmental Protection Agency, March 1991.
- (11) 정동수, "공기조화용 냉매 HCFC-22 대체의 세계적 동향", 제123회 학연산 연구교류회, 한국과학재단 연구교류동, 1994. 5.

**내 고장 내 일꾼
깨끗한 내 한표로**