

R-12 냉매용 냉동장치의 성능에 미치는 R-12와 R-134a 냉매의 효과

The Effect of R-12 and R-134a Refrigerant on the Performance of Refrigeration Equipment for R-12 Refrigerant

이 흥 기* 장 동 호* 정 용 진* 강 형 석**
Lee, Hong-Gee Jang, Dong-Ho Jung, Yong-Jin Kang, Hyung-Suk

Abstract

High pressure, pressure ratio, refrigerating effect, heat transfer from the condenser and the power of the compressor etc. of a self-made refrigeration equipment for R-12 are investigated when R-12 and R-134a are used as the coolants. The comparison between the performance for R-12 and that for R-134a is made. As a result, R-134a is better than R-12 in the view of high pressure, refrigerating effect and the coefficient of performance and vice versa in the view of pressure ratio, exit gas temperature from the compressor and heat transfer from the condenser.

키워드 : 성능계수, R-12, R-134a, 냉동효과

Keywords : Coefficient of Performance, R-12, R-134a, Refrigerating effect

1. 서론

냉동에서 냉동의 목적을 이루기 위해서 사용되는 물질은 모두 냉매라고 (refrigerant) 부르며 이것에는 기체, 액체, 고체가 있고 열을 운반하는 방법에 따라서 1차 냉매와 (직접냉매, 주로 잠열상태로 열을 운반한다) 2차 냉매가 (간접냉매, 브라인, 주로 감열상태로 열을 운반한다) 있다. 그러나 보통 냉매라고 하면 냉동시스템 내에서 열을 운반하는 작동유체로서 사용되며 냉동효과를 거두기 위해 냉매의 증발에 의하여 열을 흡수하는 1차 냉매를 말한다. 지금까지는 주로 CFC 및 HCFC 냉매를 사용하였으며 기존의 연구들도[1][2][3] 주로 이러한 냉매를 대상으로 수행하였다.

그러나 현재, 문제점으로 지적되고 있는 염화불화탄소들은 (CFC) 특정프레온 가스로서 1974년도 과학자들에 의해 성층권의 오존층을 붕괴시킨다는 발표가 있는 후 1987년 오존층 붕괴를 일으키는 CFC물질들을 규제하기 위한 몬트리얼 의정서가 (Montreal protocol) 세계주요 국가들에 의해 조인되었으며 1992년 제4차 몬트리얼 의정서 조정 및 개정에 의해 지정 프레온가스인 HCFC는 1996년 1월 1일부터 2003년까지 사용량을 1989년 소비량 수준으로 동결하며 이후에는 점차적으로 줄여 2020년부터는 HCFC를 법적으로 사용하지 못하게 되었고, 특정 프레온가스인 CFC는 1996년 이후에는 사용을 금지하게 됨에 따라 대체냉매가 많이 개발되고 있으며 대체냉매와 혼합냉매에 관한 연구도[4][5][6] 많이 이루어지고 있으나 기존에 나와 있는 냉장고, 에어컨등 제품들은 대다수가 CFC냉매인 R-12를 사용하고 있다.

R-12는 고, 저압이 적당하고 소형으로부터 대형

* 강원대학교 대학원 기계공학과 공학석사

** 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 교수

의 왕복식 냉동기에 광범위하게 사용하며 소형냉장고 중 가정용 냉장고의 냉매로 널리 사용한다. R-12는 대체냉매로서 연구가 활발히 이루어지고 있는 R-134a와 [7][8] 같은 종류의 윤활유를 쓸 수 있으며 열역학적, 화학적 물성치들이 유사하고 가격이 저렴하여 저온으로부터 상온까지 (에어컨) 보편적으로 사용된다. 따라서 본 논문에서는 직접 제작한 R-12용 냉동장치에 각각 R-12와 R-134a 냉매를 채운 후 같은 방법으로 실험하였을 때 각 물성치들의 변화와 냉동장치의 성능을 비교하여 두 냉매사이의 호환 가능성 및 냉동장치에 미치는 변화에 대하여 고찰한다.

2. 실험

2.1 실험장치 구성 기기

본 실험에 사용된 R-12 냉매용 냉동장치가 Photo 1에서 보여지며 이 실험장치를 구성하는 각각의 구성 기기에 대한 재원은 다음과 같으며 Fig. 1은 이 실험냉동장치의 개요도 이며 이 그림에서 보여지는 각 부분의 명칭은 Table 1에서 나타난다.

- 1) 압축기는 보통 일반적으로 널리 사용하는 1/4 HP(보통 가정용 소형냉장고에 많이 사용) 완전 밀폐형 왕복동식을 사용한다. (기통경 28 mm, 행정 22 mm, 기통수 2, 회전수 830 rpm, 토출량 1.35 m³/h)
- 2) 응축기는 열 전달을 양호하게 하기 위해 동관에 핀이 부착된 시제품을 사용. (전열면적 4.7 m², 응축용량 1175 kcal/h, 냉매 입구축 관경 3/8 inch, 냉매 출구축 관경 3/8 inch)
- 3) 수액기는 1/2 HP 이다.

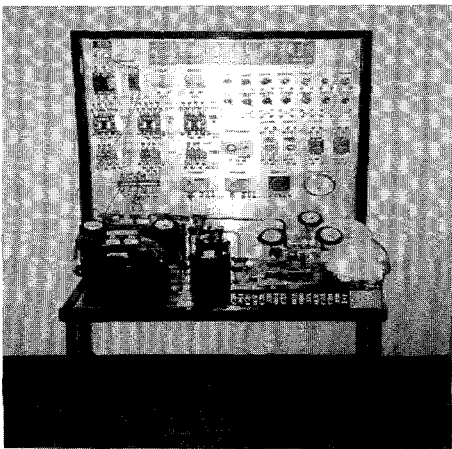


Photo 1. Experimental equipment

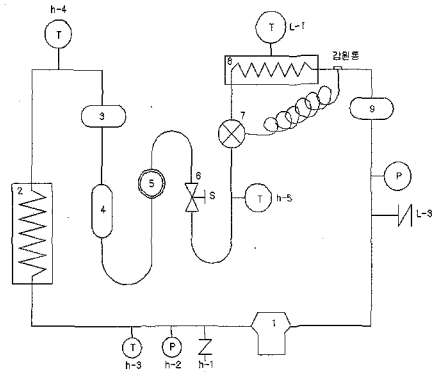


Fig. 1 Schematic diagram of experimental equipment

Table 1 The name of the experimental equipment

No	name
1	compressor
h-1	charge nipple
h-2	high pressure gauge
h-3	thermometer
2	condenser
3	liquid receiver tank
h-4	thermometer
4	filter-dryer
5	sight glass-magic eye
6	solenoid valve
h-5	thermometer
7	temperature expansion valve
8	evaporator
L-1	thermometer
9	accumulator
L-2	compound pressure gauge
L-3	charge nipple

- 4) 장치내의 이 물질과 수분을 제거하기 위해 필터 겸 드라이어가 사용된다.
- 5) 냉매의 건조 상태와 (magic eye ; 건조상태 색 지시계가 냉매 중에 수분의 양에 따라 녹색에서 노란색으로 변함) 흐름상태를 볼 수 있는 투시경을 (sight glass) 부착한다.
- 6) 팽창밸브는 R-12용 온도자동팽창밸브를 (TEV) 사용한다.
- 7) 증발기는 열전달이 양호하도록 동관에 핀이 부착된 시제품을 사용하고 (전열면적 2.3 m², 용량

575 kcal/kg, 냉매 입구 관경 3/8 inch, 냉매 출구 관경 3/8 inch) 냉장고는 열을 차단하기 위해 냉장실(35 cm × 6 cm × 7 cm) 내면에 20 mm 두께의 압착 스티로폴로 단열시공 한다.

8) 고압과 저압 측에 기밀시험, 장치진공, 냉매의 충전과 압력측정을 위한 충전 니플을 (charge nipple) 부착한다.

9) 고압과 저압 측에 브르돈관식 압력계와 필요한 곳에 디지털온도계와 아날로그온도계를 부착한다.

10) 각 기기는 외경 9.5 mm 동관을 사용, 연결하여 냉동장치를 구성한다.

2.2 실험장치 제작과정

Fig. 1과 Photo 1 은 본 실험장치의 배관도와 실물사진으로 압축기와 응축기는 설치할 때 진동을 흡수할 수 있도록 방진고무를 사용하여 볼트로 단단히 고정시키고 응축기에는 웬 (fan) 모터를 설치하여 압축기가 가동할 때 같이 가동되도록 하였고, 압축기의 외부로 들출된 배관 중 1/4 inch 규격의 관은 고압측 (토출측) 이므로 응축기의 상부 쪽 입구 측에 배관하였고, (보통, down feed 방식으로 프레온 냉매를 사용하는 냉동장치에서는 윤활유의 흐름을 양호하게 하기 위해 냉매가스가 위로 공급되어 응축 액화 된 후 아래로 흐르도록 배관한다) 압축된 고온고압의 냉매가스가 응축기에서 액화됐을 때 미량의 수분이라도 존재하면 장치에 여러 가지 악영향을 (산을 생성하여 장치부식과 윤활유에 여러 가지 문제점을 야기시키고 팽창변을 동결쇄쇄 시켜 냉동장치를 down 시킨다) 미치므로 장치 중에 수분제거와 불순물을 제거하기 위해 80 mesh로 된 필터 겸 건조기로 (filter-dryer) 들어갈 수 있게 플레어 연결하였고 투시경을 (sight glass) 부착하여 기체냉매가 완전히 액화가 되는 것과 수분이 있을 경우 색 지시계의 색이 변화하는 것을 확인하였으며, 장치중의 냉매 흐름을 차단하여 펌프다운을 (시스템 내에 있는 냉매를 고압측 측, 수액기로 모으는 것) 하기 위해 전자밸브를 설치하였다.

소형 밀폐형 냉동기에서는 보통, 원가 절감과 교축관의 자기 조정 작용 (냉동장치에서 운전을 정지하였을 때 고압측과 저압측이 균압이 되는 현상) 때문에 교축관을 사용하나 좀더 효과적으로 냉매를 교축팽창시키기 위하여 프레온-12용 온도자동식팽창밸브를 (temperature expansion valve, TEV) (감온통은 증발기와 액분리기 사이에 설치하였고, 감온통내에 충전하는 물질에 따라 가스충전식, 액충전식, 크로스충전식이 있는데 본 실험장치에는 가스 충전식을 사용하였다) 설치하였고, 모세관을 사용하는 냉동장치에서 고압측에 액냉매가 모일 수 있는 수액기와 같은 기기를 설치하게 되면 모세관의 자기 조정 작용으로 인해 냉동장치 정지시

고압측의 (수액기) 냉매가 저압측으로 (증발기) 넘어가 균압을 이루는데 이 과정에서 증발기에 액냉매가 증발하게 되어 압축기가 재 가동시 액압축의 위험이 있기 때문에 수액기는 설치하지 않으나, 본 실험장치에서는 온도식 자동팽창밸브를 사용하였기 때문에 효과적인 운전과 펌프다운을 위하여 수액기를 설치하였다. 온도자동식팽창밸브에서 교축팽창 된 액냉매가 증발기 상부 쪽으로 들어가 (윤활유의 회수를 원활하게 하기 위해) 증발관을 이동하면서 열교환을 통해 건조포화 증기가 된 냉매는 압축기로 흡입되도록 (3/8 inch 관이 흡입관임) 배관하였으나, 적상과대 부하변동이 있을 경우 습압측으로 인해 압축기가 파손되는 것을 방지하기 위해 액분리기를 설치하였다. 장치중 연결부분은 R-12의 설계압력이 고압부는 13.2 kg/cm², 저압부는 8 kg/cm² 내압시험 압력이 20 kg/cm²G, 임을 고려하여 30 kg/cm²G 이상의 고압에서도 견딜 수 있도록 경납땜 (은납용접) 하였고, 토출관과 흡입관에 브르돈관식 압력계와 충전니플을 설치하여 고압과 저압을 측정하였고 토출관, 응축기출구관, 팽창변입구관 및 냉장실 흡입관등에 온도계를 설치하여 필요한 온도를 측정하였다.

2.3 전기적인 결선

본 실험장치의 전기적인 결선도가 Fig. 2에서 보여지며 작동원리는 다음과 같다.

① MCB를 닫고 start를 누르면 Ry가 여자 되고 냉장고내의 온도가 상승되어 있어 T/C가 닫혀있는 상태이므로 RL이 점등, SV가 열려있고, DPS, Th도 닫혀 있으므로 Mc가 여자 되어 GL이 점등하고 압축기와 응축기 웬이 동작한다.

② 냉동기가 운전되어 규정온도까지 내려가면 T/C가 동작하여 점점이 떨어지므로 SV가 닫혀

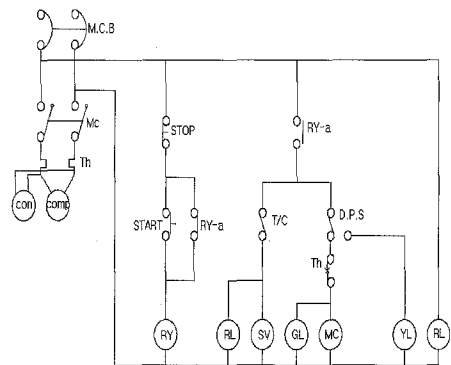


Fig. 2 An electric circuit for the experimental equipment

RL이 소등하고 저압측의 (증발기측) 냉매가 펌프다운 되어 고압측으로 (응축기) 냉매가 회수되므로 규정압력까지 떨어지면 DPS가 동작하여 Mc가 감자되므로 GL이 소등하고 압축기가 정지한다.

③ 정지상태에서 시간이 흐름에 따라 냉장고내의 온도가 상승하게 되면 T/C가 단혀 SV가 동작하고 따라서, 증발기내의 압력이 상승하므로 DPS가 단히고 Mc, GL이 동작하므로 운전이 된다.

④ 운전중 규정압력 이상시 DPS가 (고, 저압차단스위치) 작동하고 과전류가 흐르면 Th가 (열동계전기) 작동하여 Mc가 감자되므로 압축기와 냉동장치를 보호한다.

⑤ Stop을 누르면 Ry가 감자되므로 시스템의 동작이 멈춘다.

2.4 실험환경 및 실험방법

R-12와 R-134a 냉매를 각각 R-12용 냉동장치에 충전시켜 실험하는 과정은 아래와 같으며, 본 실험시 실의 온도는 18℃이고 실험실 내의 실내온도는 22℃ 였으며 냉장실 内の 온도는 -12℃를 유지한 상태에서 실험을 행하였다.

- 1) 실험장치를 완성시킨 후 불활성가스인 질소를 이용하여 기밀시험을 (15 kg/cm²) 행하여 누설부분이 없는 것을 확인하며 누설이 의심되는 부분에는 비눗물 검사를 한다.
- 2) 질소가스를 방출한 후 장치 내부를 진공진조시키기 위하여 진공펌프를 작동시켜 시스템 내부를 진공으로 만든다.
- 3) 약 30분 정도 진공방치 시험을 하는데 누설개소가 있게되면 압력에 변동이 생긴다.
- 4) 이상이 없으면 포터블 냉매 충전기를 사용하여 장치내의 냉매를 충전한다.
- 5) 일정압력에 도달하면 용접부와 각 이음부에 비눗물 검사와 전자누설탐지기를 사용하여 누설 개소를 확인한다.
- 6) 이상이 없으면 냉동기를 운전하며 적정량의 냉매를 메니폴드게이지의 과란호스 즉, 흡입측으로 충전한다.
- 7) 실험이 끝나면 장치내의 냉매를 외부로 방출하고 1)~6)까지의 과정을 반복한 후 냉매를 충전하여 재차 실험을 행한다.

같은 조건하에서 실험을 하기 위해 냉매를 방출할 경우 프레온계 냉매는 윤활유와 냉매가 섞여서 장치 내를 순환하기 때문에 미량이지만 압축기의 윤활유가 냉매와 함께 손실되어 장치에 미치는 영향에 대해서는 고려하지 않았고 모든 장치는 R-12 전용 기기를 사용하였다. 또한 냉매의 충전량은 냉동장치의 성능에 큰 영향을 미치므로 적정량의 냉매를 충전하여야 하나 냉장실의 피냉각 물체의 양에 (제거해야할 열량) 따라서 충전해야 할 냉매의 양이 달라지므로 냉장실에 부하를 주지 않은

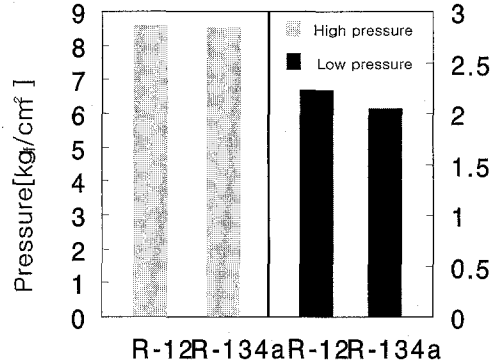


Fig. 3 The comparision between R-12 and R-134a in the view of high and low pressures.

상태를 (피냉각 물체가 없는 상태) 기준으로 하여 흡입관의 정상상태와 냉매투시경의 (sight glass) 냉매흐름 상태를 보아가며 결정하였다 (포터블 냉매충전기를 사용하여 중량비로 300g 충전하였다).

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 R-12용 냉동장치에 R-12와 R-134a 냉매를 각각 사용하였을 때 고압과 저압의 비교를 나타낸다. 고압과 저압 모두 R-12보다 R-134a 냉매가 약간 낮게 나타났으며 R-12에 비하여 상대적으로 고압은 약 1%, 저압은 약 7% 낮다. 이 결과로부터 압력만을 고려하면 R-12용 냉동장치의 특

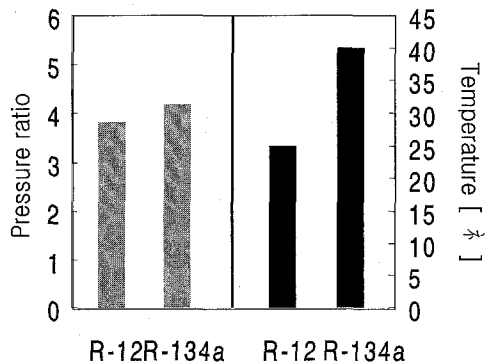


Fig. 4 The comparison between R-12 and R-134a in the view of pressure ratio and the compressor dome temperature

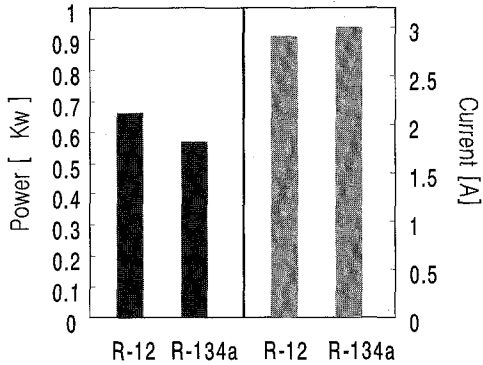


Fig. 5 The comparison between R-12 and R-134a in the view of power and current

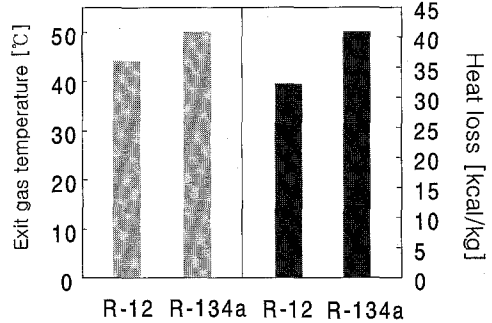


Fig. 7 The comparison between R-12 and R-134a in the view of exit gas from the compressor and heat loss from the condenser

별한 변형 없이 R-134a냉매를 그대로 사용 가능하다고 생각되어진다.

압축비가 크다는 의미는 압축기의 필요 일이 많아지게 된다는 것을 뜻하며 압축기 dome온도의 변화는 토출 가스온도, 압축비와 관련이 있는데, 이러한 압축비와 dome온도에 대한 두 냉매의 비교가 Fig. 4에서 보여진다. 실험결과 R-12를 사용하였을 경우에 비해 R-134a를 사용하였을 경우 압축비는 다소 높아진 데에 반하여 dome 온도는 상당히 높아짐을 보여주는데 이러한 사실로부터 R-12냉매를 R-134a냉매로 대체 시 윤활유의 교체 가 필요할 것으로 생각된다.

Fig. 5는 R-12용 냉동장치에 R-12와 R-134a냉

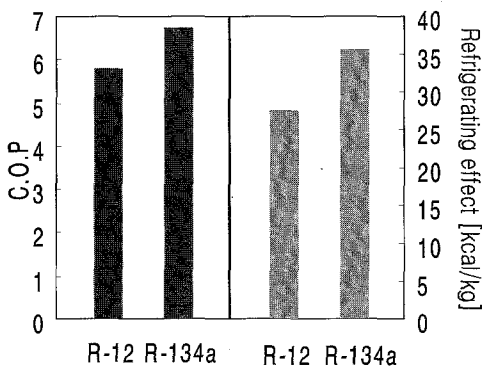


Fig. 6 The comparison between R-12 and R-134a in the view of COP and refrigerating effect

매를 각각 사용하였을 때 전류와 필요 동력의 비교를 나타낸다. 전류에서는 두 냉매의 변화의 차이가 많지 않았으며 동력 측면에서는 R-12보다 오히려 R-134a냉매가 다소 유리함을 알 수 있다.

두 냉매에 대하여 냉동시스템의 성능을 평가하는데 중요한 지표로서 사용되는 성적계수와 냉동효과의 비교가 Fig. 6에서 보여진다. 이 그림에서 냉동력과 성적계수만을 고려한다면 R-12보다 R-134a가 좋다는 것을 알 수가 있으며 상대적으로 성적계수는 약 16%, 냉동효과는 29% 정도가 증가함을 보여준다.

토출가스 온도는 압축기의 재료와도 많은 관련이 있으며 시스템의 수명 및 순환 오일의 열화등 시스템의 신뢰성에 있어 중요한 요소인데 토출가스 온도와 응축기에서의 발열량의 비교가 Fig. 7에서 보여진다. 토출가스 온도와 응축기에서의 발열량 모두 R-134a가 R-12보다 높는데 이로부터 R-12용 냉동 장치에 R-134a냉매를 사용할 때는 다소 용량이 큰 응축기의 사용이 바람직하다는 것을 알 수가 있다.

4. 결론

본 연구에서는 기존에 만들어졌고 현재 사용하고 있는 R-12냉동장치에 대체물질인 R-134a냉매를 그대로 사용하였을 경우 냉동장치의 성능과 개선점에 대한 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고, 저압축 측면에서는 R-12보다 R-134a냉매가 낮아 냉동장치를 그대로 사용이 가능하다.
2. 전류 값은 큰 변화가 없었으나 동력측면에서

는 R-134a냉매가 유리함을 보여준다.

3. 냉동효과와 성적계수는 R-134a가 좋게 나타났다.

4. 압축기와 압축기 dome의 온도에서는 R-134a가 높게 나타났는데 이러한 측면에서 윤활유의 교체가 필요하다고 생각된다.

5. R-134a냉매를 사용할 경우 토출가스 온도와 응축기 방열량이 R-12냉매 보다 큰데 이로부터 다소 용량이 큰 응축기의 사용이 바람직하다고 생각된다.

이상과 같은 결론을 통하여 알 수 있듯이 R-12냉매를 R-134a로 대체 할 때는 장치내의 윤활유 교체와 다소 큰 용량의 응축기의 사용이 바람직하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] S. L. Chen, F. M. Gerner and C. L. Tien, "General film condensation correlation," *Experimental Heat Transfer*, Vol. 1, pp. 93~107, 1987
- [2] S. J. Kuehl and V. W. Goldschmidt, "Modeling of steady flow of R-22 through capillary tube," *ASHRAE Trans.*, Vol. 97, Part 1, pp. 139~148, 1991
- [3] 김주원, 김정훈, 서석기, 김정훈, 김종수, "극세관 헬리컬 코일 증발관내 R-22의 열전달 및 압력손실 특성," *대한기계학회논문집 B권*, 제24권, 제5호, pp. 699~708, 2000
- [4] D. A. Didion and D. Bivens, , "Role of refrigerant mixtures as alternatives to CFCs," *Int. J. Refrig.*, Vol. 13, pp. 163~175, 1990
- [5] 서정현, 김민수, "R407C 및 R410A의 수평원관내 응축열전달," *공기조화·냉동공학논문집*, 제11권, 제5호, pp. 633~641, 1999
- [6] R. Doring, H. Buchwald and J. Hellmann, "Results of experimental and theoretical studies of the azeotropic refrigerant R-507," *Int. J. Refrig.*, Vol. 20, No. 2, pp. 78~84, 1997
- [7] S. J. Eckels, S. C. Zoz and M. B. Pate, "Using solubility data for HFC-134a and ester lubricant mixtures to model an in-tube evaporator or condenser," *ASHRAE Trans.*, Vol. 99, Part II, pp. 383~391, 1993
- [8] T. Ebner and H. Halozan, "Testing the available alternative-an examination of R-134a, R-152a and R-290," *IEA HPC Newsletter*, Vol. 12, No. 1, Sittard, The Netherlands, 1994