

# 가열기가 내장된 냉매오일 분리기의 성능 고찰 Performance Analysis of the Refrigerant oil separator with a build-in heater

김 종 열  
J. R. Kim

(접수일 : 2011년 07월 01일, 수정일 : 2011년 07월 15일, 채택확정 : 2011년 07월 28일)

**Key Words** : Compressor(압축기), Density(밀도), Oil Separator(오일 분리기), Refrigeration lubricant(냉동기유), R-410a(냉매명)

**Abstract** : Refrigerant oil reduces friction between piston and cylinder of compressor and is normally hard to mix or dissolve in refrigerant. Oil separator deprives refrigerating oil from mixed solution of refrigerant and refrigerant oil. Sometimes much machine oil is carried into an evaporator and is applied to surface of the evaporator, and then disturbs heat transfer through it. Well-made oil separator helps refrigerating system stable and evaporator sustain full capacity. In this paper, new oil separate with different way to structure is suggested and tested. As result the new separates is 13% higher at 0C with 10% mixture and 6% higher at 0C with 20% mixture.

## 1. 서 론

일반적으로 증기압축식 냉동장치에서는 압축기를 구동하기 위해 적당량의 오일이 필요하다. 오일의 역할은 압축기의 접촉부위에 공급되어 냉각, 세정, 실링, 부식방지 등의 기능을 수행할 뿐만 아니라 압축기의 과손을 방지할 뿐 아니라 열교환기, 팽창장치 및 시스템 전체의 성능에 영향을 끼친다. 즉 오일이 냉매에 혼합되어 열교환기나 팽창장치 등에 유입되면 관 벽에 오일이 부착하여 열전달율이 감소되어 냉동장치 전체의 성능이 저하된다<sup>1)</sup>.

따라서 냉매-오일의 혼합물에서 오일을 분리하여 다시 압축기로 보내주는 유분리기의 역할은 냉동시스템에서 매우 중요하며, 이러한 오일 분리의 문제점들은 유분리기를 적용함으로써 시스템 내부의 오일을 분리시켜 압축기 내부의 오일을 적정 수준으로 유지시켜주고 오일슬러지를 감소시키므로 시스템의 효율을 증가시킬 수 있다<sup>2)</sup>.

한편 압축기 각부의 윤활용으로 R-505의 경우 광유인 미네랄오일이 사용되었으나 HFC 성분의 대체 냉매들은 미네랄 오일에 용해되거나 혼화되지 않는

다. 따라서 대체냉매에 적합한 새로운 냉동기유가 필요하게 되었으며, 현재 합성오일인 PAG와 POE 오일이 사용되고 있다<sup>3,4)</sup>.

따라서 본 연구에서는 기존 오일분리기의 개념과 달리 냉매를 증류 재생시킬 수 있도록 가열기를 유분리기의 저면에 내장하도록 구조를 개선하여 HFC계 냉매인 R-410A와 POE 혼합물을 대상으로 기존의 오일분리기와 본 연구에서 새롭게 제안한 오일분리기의 실험을 통해 성능을 검증하여 발표하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 실험장치 및 실험방법

냉매-오일 혼합물이 항상 액체 혹은 기체 상태로 혼합되어 유동할 수 있는 폐회로 시스템을 설계 제작하였다. Fig. 1은 실험장치의 개략도(냉매-오일의 자동분리시스템)이다.

실험장치는 크게 냉매순환부와 냉매의 설정온도를 유지시키기 위해 항온조 순환부, 냉매와 오일을 분리시키는 유분리기 등으로 구성되어 있다.

순환부에 의해 설정 온도로 유지되어 수액기 내에 저장되어 있는 냉매는 마그네틱 기어펌프에 의해 순환을 하며, 냉매-오일 혼합물의 유량은 기어펌프의

김종열(교신저자) : 동명대학교 냉동공조공학과  
E-mail : k jy804@tu.ac.kr, Tel : 051-629-1684

회전속도를 변환시키는 속도 조절기로 조절되고, 유량은 질량유량계로 측정하였다. 오일 혼합을 위한 오일의 주입은 오일 주입기를 사용하였다. 냉매를 관내에 충전하기 전에 진공펌프를 사용하여 관내를 진공으로 만든 뒤 실험조건의 농도에 해당하는 오일이 주입된 오일 주입구를 반대편 충전포트에 연결하고 밸브를 열어 압력차를 이용하여 주입시켰다. 액상의 냉매-오일 혼합물이 자동분리장치(유분리기)를 통과하여 오일과 냉매가 분리된다.

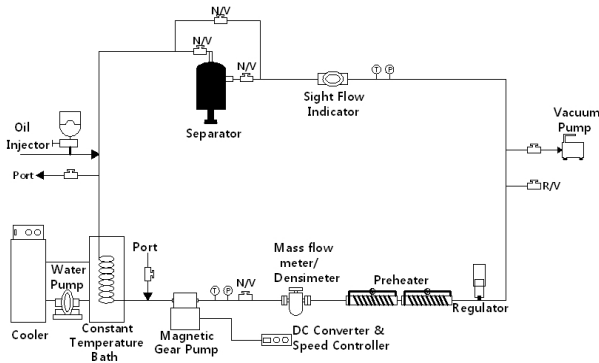
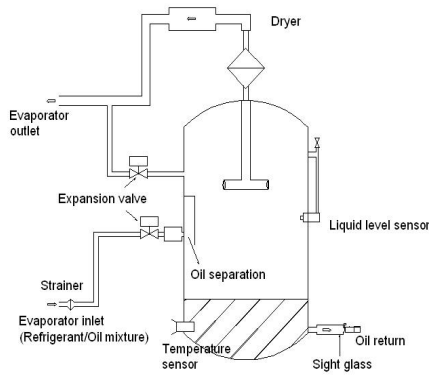


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental system.



(a) Schematic diagram of new oil separator



(b) Photo of new oil separator

Fig. 2 Schematic diagram of oil separator

냉매-오일 혼합물의 밀도 측정을 위해서는 밀도계를 이용하였으며, 본 연구에서 제안한 새로운 유분리기는 유입되는 혼합물의 밀도차를 이용하는 것으로, 설정된 시간이 경과(액 레벨 센서)하면 증류 실린더의 히터가 작동하고 오일의 산분, 수분을 함유한 액상 혼합물을 기화시켜 기화한 기상냉매는 필터 드라이어를 통과하는 동안, 유분, 수분, 산분이 제거 및 재생되어 증발기 내 상부로 환원된다. 증류 실린더내의 냉매가 완전히 없어지게 되면 증류 실린더 내에는 오일만 남게 되고 오일의 온도가 상승하여 설정된 온도에 다다르면 증류공정이 완료되었다고 판단, 오일을 압축기로 반환한다. Fig. 2의 (a), (b)에 제안된 유분리기의 개념 및 장치를 나타내었다.

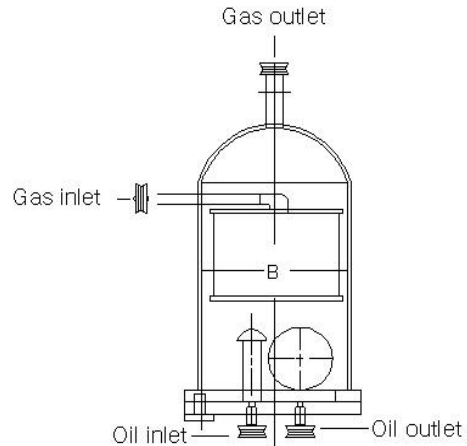


Fig. 3 Schematic diagram of old oil separator

Fig. 3은 구 유분리기로, 이번 실험장치에서 개발한 신 유분리기와 비교하기 위한 것이다. 유분리기에 있어서 오일(POE)의 분리 능력을 실험하기 위하여 구 유분리기 및 자동분리장치(신 유분리기)의 미부착시 냉매-오일 혼합물의 농도 및 온도 변화에 대한 밀도를 밀도계를 이용하여 측정하였다.

냉매 R-410A인 경우 설정 온도를 유지시키기 위해 냉동기(cooler) 순환부를 가동한다. 또한 진공펌프를 이용하여 원형 유동관내를 진공으로 유지시킨다. 그 후 냉매 충전용기를 저울에 달아 초기 질량을 기록해둔 후 원하는 질량을 충전포트(charging port)를 통해 수액기로 주입한다. 주입이 끝나면 마그네틱 기어펌프를 가동하여 냉매를 순환시킨다. 설정된 질량유량은 기어펌프에 부착된 속도 조절기를 증감시키면서 조절할 수 있다. 설정한 입구온도와 질량유량에서 정상상태를 이루도록 시간을 두어 순환시킨다.

## 2.2 데이터 처리

냉매-오일 혼합물인 경우 오일 농도는 질량비(wt%)로 설정하므로 충전하고자 하는 냉매의 질량에 대한 오일의 질량을 오일 주입기에 주입한 후, 단일냉매인 경우의 실험과정에서 초기에 원형유동관내를 진공펌프를 사용해 진공으로 유지시킬 때, 오일 주입기를 반대편 충전포트에 연결하고 밸브를 열어 음압을 이용하여 주입시킨다. 실험이 끝나면 유동관로를 모두 분리하여 관내와 구성품 모두를 세척제를 이용하여 깨끗하게 세척한 후 같은 방법으로 실험을 수행하게 된다. 실험에 사용된 오일은 냉매와 같이 상용되며 냉동기유는 오일 POE를 사용하였다.

본 실험장치에서 유분리기의 능력을 측정하기 위해, 오일 농도는 0 ~ 20 wt%로 5 % 간격으로, 온도는 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C에서 각각 밀도를 측정하였다. 냉매-오일 혼합물의 농도 및 온도 변화에 대한 유분리기의 오일 분리율(R)의 변화식을 이용하여 계산하였다.

$$R_{oil\ return\ ratio} = 1 - \frac{\rho_{sep} - \rho_o}{\rho_{no\ sep} - \rho_o} \quad (1)$$

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 구형 유분리기의 실험결과

구 유분리기를 이용하여 오일을 분리하는 연구결과로, 냉동장치에서 유분리기가 부착되지 않았을 경우, 냉매 R-410A/오일 POE의 농도 및 온도의 변화에 대한 밀도를 Fig. 4에 나타내었다.

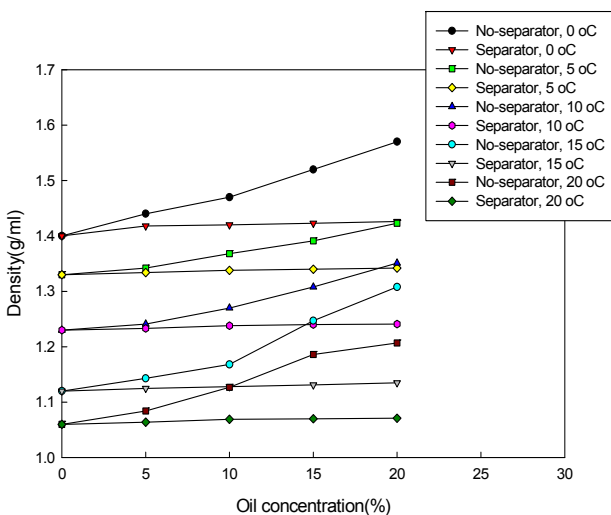


Fig. 4 Effect of oil concentration on mixture density for various temperatures.

유분리기를 부착했을 때의 설정온도 10 °C에서 오일 농도가 5 %일 때 유분리기를 거친 혼합물의 밀도는 1.241 g/ml, 오일 농도가 10 %일 때 1.238 g/ml, 15 %일 때 1.240 g/ml, 20 %일 때는 1.241 g/ml로 측정되었다. 모든 설정 온도에서 농도가 증가할수록 밀도가 증가함을 보였다. 또한 유분리기를 부착했을 경우의 밀도가 유분리기를 미부착했을 때의 밀도보다 작음을 알 수 있다.

냉매 R-410A /오일 POE 혼합물의 온도 변화에 대한 밀도를 Fig. 5에 나타내었다.

오일 농도가 10 %에서 온도가 0 °C일 때 밀도는 1.420 g/ml이고, 5 °C에서는 1.338 g/ml, 10 °C에서는 1.238 g/ml, 15 °C에서는 1.128 g/ml, 20 °C에서는 1.069 g/ml로 측정되었다.

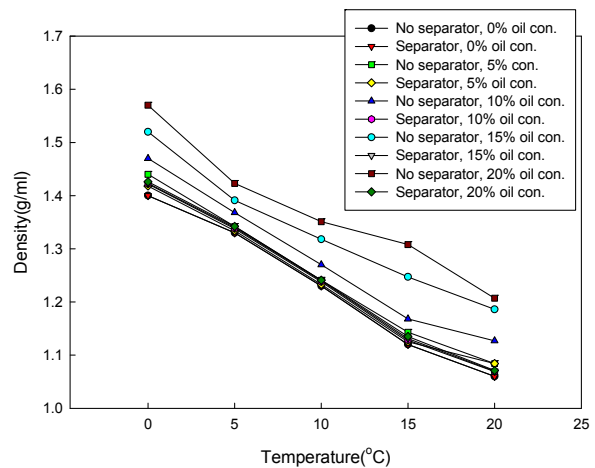


Fig. 5 Effect of temperature on mixture density for various oil concentrations.

오일 농도가 20 %일 경우 온도가 0 °C일 때 밀도는 1.426 g/ml, 5 °C에서는 1.342 g/ml, 10 °C에서는 1.241 g/ml, 15 °C에서는 1.135 g/ml, 20 °C에서는 1.071 g/ml로 각각 측정되었다. 측정 오일 농도 범위에서 온도가 증가할수록 밀도는 감소하였다. 오일 농도 변화에 대한 밀도값에서와 마찬가지로 유분리기를 부착했을 경우의 밀도가 부착하지 않았을 경우보다 작다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 6은 냉매 R-410A/오일 POE의 오일 농도 변화에 대한 오일 분리율을 나타낸 것이다. 온도가 10 °C인 경우, 5 %에서는 73 % 정도의 오일 분리율을 나타냈으며, 10 %에서는 80 %, 15 %에서는 89 % 정도의 오일이 분리되었다. 여기서도 모든 온도 범위에서 혼합물의 농도가 증가할수록 유분리기에서 분리되는 오일분리율은 증가하였다.

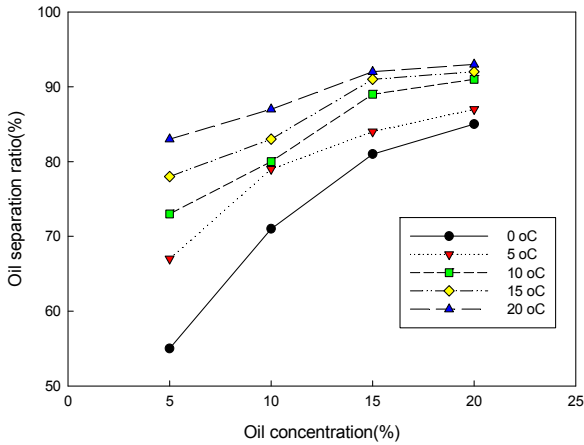


Fig. 6 Effect of oil concentration on oil separation ratio for mixture in old separator.

냉매-오일 혼합물의 온도 변화에 대한 오일 분리율을 Fig. 7에 나타냈다.

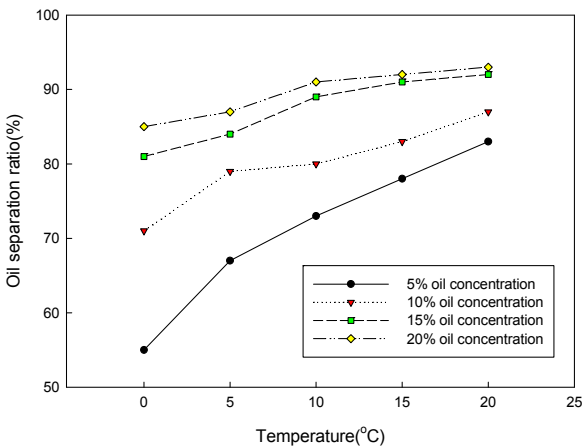


Fig. 7 Effect of temperature on oil separation ratio for mixture in old separator.

오일 농도가 5 %인 경우, 0 °C에서는 55 %의 오일 분리율을 나타냈으며, 5 °C에서는 67 %, 10 °C에서는 73 %, 15 °C에서는 78 %, 20 °C에서는 83 %의 오일 분리 능력을 보였다. 위 그래프에서 알 수 있듯이 모든 농도 범위에서 온도가 증가함에 따라 유분리기에서 분리되는 오일 분리율은 증가하였다. 즉 온도가 증가함에 따라 유분리기에서 걸러지는 오일 분리율이 증가하는 것으로 판단된다.

### 3.2 신형 유분리기의 실험결과

유분리기를 미부착한 경우, 냉매 R-410A/오일 POE의 오일 농도 및 온도 변화에 대한 밀도를 Fig. 8에 나타내었다.

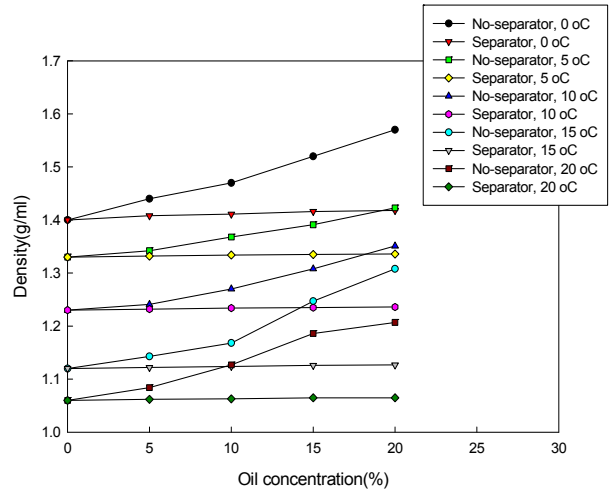


Fig. 8 Effect of oil concentration on mixture density for various temperatures.

유분리기를 부착했을 때의 설정온도 10 °C에서 오일 농도가 5 %일 때 유분리기를 거친 혼합물의 밀도는 1.232 g/ml, 오일 농도가 10 %일 때 1.234 g/ml, 15 %일 때 1.235 g/ml, 20 %일 때는 1.236 g/ml로 측정되었다. 모든 설정 온도에서 농도가 증가할수록 밀도가 증가함을 보였다. 또한 유분리기를 부착했을 경우의 각각의 밀도를 보면, 1.241 g/ml, 1.270 g/ml, 1.318 g/ml, 1.351 g/ml로, 밀도가 유분리기를 미부착했을 때의 밀도가 더 크다는 것을 알 수 있다.

냉매 R-410A/오일 POE의 온도 변화에 대한 밀도를 Fig. 9에 나타내었다. 오일 농도가 10 %에서 온도가 0 °C일 때 밀도는 1.411 g/ml이고, 5 °C에서는 1.334 g/ml, 10 °C에서는 1.234 g/ml, 15 °C에서는 1.124 g/ml, 20 °C에서는 1.064 g/ml로 측정되었다.

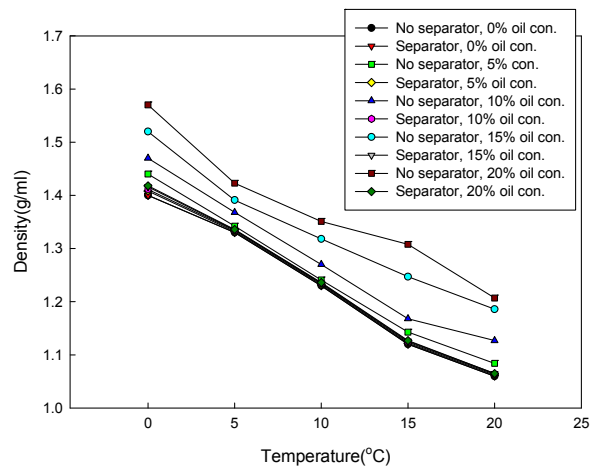


Fig. 9 Effect of temperature on mixture density for various oil concentrations.

오일 농도가 20 %일 경우 온도가 0 °C일 때 밀도는 1.418 g/ml이고, 5 °C에서는 1.336 g/ml, 10 °C에서는 1.236 g/ml, 15 °C에서는 1.127 g/ml, 20°C에서는 1.065 g/ml로 측정되었다. 측정 오일 농도범위에서 온도가 증가할수록 밀도는 감소하였다. 오일 농도 변화에 대한 밀도 값에서와 마찬가지로 유분리기를 부착했을 경우의 밀도가 부착하지 않았을 경우보다 작다는 것을 알 수 있었다.

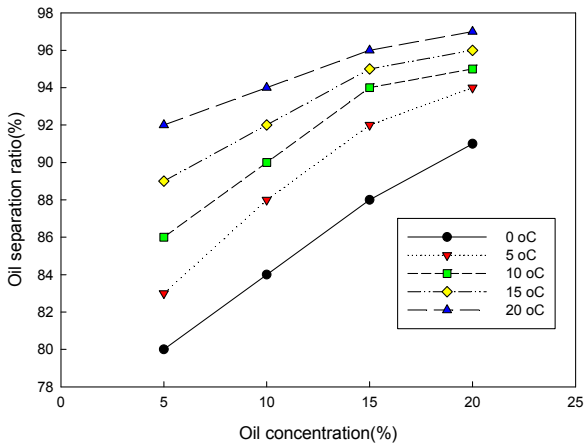


Fig. 10 Effect of oil concentration on oil separation ratio for mixture in new separator

Fig. 10은 냉매 R-410A/오일 POE의 오일 농도 변화에 대한 오일 분리율을 나타낸 것이다. 온도가 10 °C인 경우, 5 %에서는 86 % 정도의 오일 분리율을 나타냈으며, 10 %에서는 90 %, 15 %에서는 94 % 정도의 오일이 분리되었으며, 20 %에서는 95 % 정도가 분리되었다. 여기서도 측정 온도 범위에서 혼합물의 농도가 증가할수록 유분리기에서 분리되는 오일 분리율은 증가하였다.

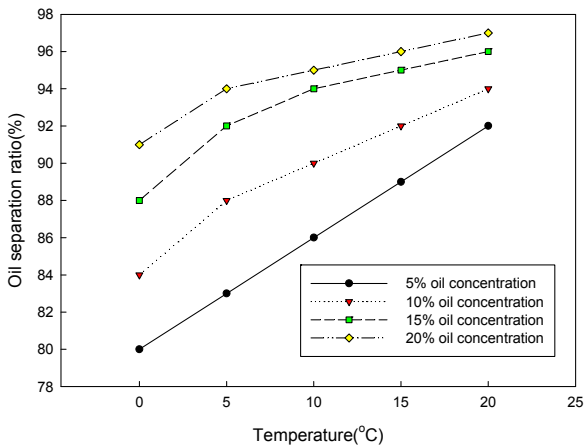


Fig. 11 Effect of temperature on oil separation ratio for mixture in new separator

냉매 R-410A/오일 POE의 온도 변화에 대한 오일 분리율을 Fig. 11에 나타내었다.

오일 농도가 5 %인 경우, 0 °C에서는 80 %의 오일 분리율을 나타냈으며, 5 °C에서는 83 %, 10 °C에서는 86 %, 15 °C에서는 89 %, 20 °C에서는 92 %의 오일 분리 능력을 보였다. Fig. 11에서 알 수 있듯이 측정 오일 농도 범위에서 온도가 증가함에 따라 유분리기에서 분리되는 오일 분리율은 증가하였다. 즉 온도가 증가함에 따라 유분리기에서 오일 분리율이 증가하는 것으로 판단된다.

### 3.3 구형 및 신형 유분리기의 실험결과

구 유분리기와 신 유분리기의 오일분리 능력을 Fig. 12과 Fig. 13에 각각 나타냈다.

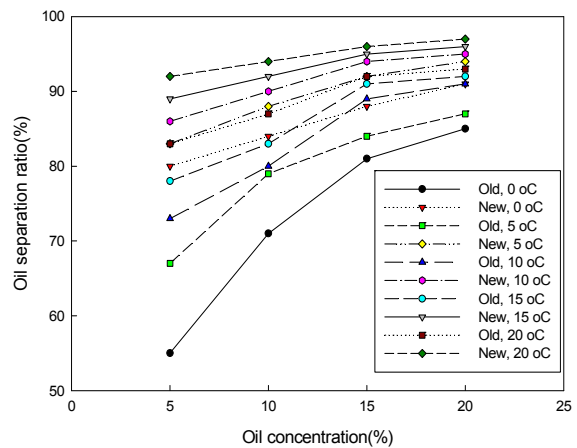


Fig. 12 Effect of oil concentration on oil separation ratio for various mixture temperatures in old and new separator.

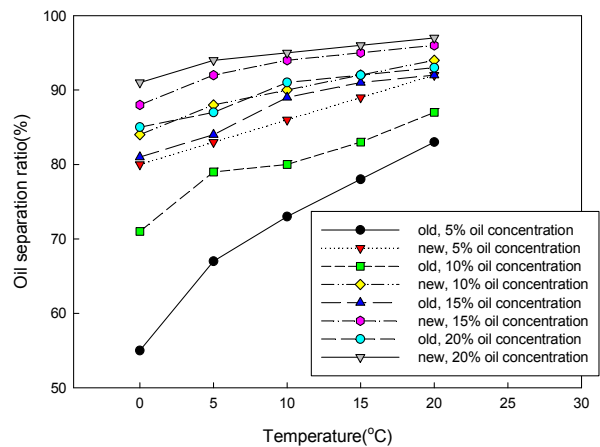


Fig. 13 Effect of mixture temperature on oil separation ratio for various oil concentration ration in old and new separator.

Fig. 12에는 냉매 R-410A/오일 POE 혼합물의 오일 농도 변화에 따른 구 유분리기와 실험장치인 신 유분리기의 오일 분리율을 각각 나타내었다. 오일 농도가 10 %인 경우, 구 유분리기에서는 0 °C에서 71 %의 오일 분리능력을 보였지만 신 유분리기에서는 84 %로, 10 % 이상의 오일분리 능력이 향상되었음을 알 수 있다. 본 실험장치에서 제안한 신 유분리기는 측정 농도의 범위에서 구 유분리기보다 오일분리 능력이 향상되었다.

Fig. 13에는 냉매 R-410A/오일 POE의 온도 변화에 대한 구/신 유분리기의 오일 분리율을 나타낸 것이다. 오일 농도가 10%인 경우, 온도가 0 °C에서는 구 유분리기는 71 %의 오일 분리율을 보였으며, 이번 실험장치에서 제안한 신 유분리기는 84 %의 오일 분리능력을 나타냈다. 또한 20 %인 경우에도 기존 분리기는 85 %의 오일 분리율을 보였으나, 신 유분리기에서는 91 %의 높은 오일 분리능력을 나타냈다. 구 유분리기의 능력에 비해 이번에 제안한 유분리기는 대략 10 % 이상의 오일분리 능력을 가지고 있음을 확인하였다.

#### 4. 결 론

R-410A를 냉매로 사용하는 냉동공조시스템에서 유동중인 냉매-오일 혼합물에서 자동분리장치(유분리기)에 의해 분리되는 오일의 분리량을 파악하기 위해 현재 사용되는 구 유분리기와 본 연구에서 제안한 신 유분리기를 대상으로 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유분리기의 부착/미부착에 의한 혼합물의 밀도 변화를 온도와 오일 농도를 변화시키면서 밀도계를 이용하여 측정한 결과, 유분리기를 부착했을 경우 부착하지 않았을 경우보다 밀도가 작게 측정되었다. 이는 오일이 분리되고 있음을 보여주는 결과로, 오일의 농도가 높고 온도가 높을수록 유분리기에서 분리되는 오일의 비율이 증가한다는 것을 알 수 있었다.

2. 오일 분리능력은 오일 농도가 10 %인 경우, 구 유분리기는 71 %의 오일 분리율을, 신 유분리기는 84 %의 오일 분리능력을 나타냈다. 또한 20 %인 경우에 85 %의 오일 분리율을 보였으나, 신 유분리기에서는 91 %의 오일 분리능력을 나타냈다. 구 유분리기의 능력에 비해 기술개발에서 제안한 신 유분리기의 오일 분리능력이 약 10 % 이상 향상됨을 확인할 수 있었다.

#### 참고 문헌

1. 김상현 외, 1997, “밀도계를 이용한 비추출식 냉동기유농도 측정에 관한 연구”, 공기조화냉동공학회 '97동계학술발표대회 논문집, pp. 333-338.
2. 이정훈 외, 2002, “R-404A/POE 오일 혼합물의 증기압과 혼화성”, 설비공학논문집, Vol. 14, n. 4, pp. 285-292.
3. 이정훈 외, 2001, “R-404A/POE 오일 혼합물의 기-액상 평형과 혼화성에 관한 연구”, 대한설비공학 2001 하계학술발표회 논문집, pp. 1233-1238.
4. 강병하 외, 2008, “오일 분리기에서 CO2/PAG 오일 혼합물의 오일분리 특성에 관한 실험적 연구”, 대한설비공학회 2008 동계학술발표대회논문집, pp. 131-136.
5. 오종택 외, 2006, “세관을 이용한 Tube-in-Tube 열교환기내 R-22, R-407C 및 R-401A 응축열전달 특성, 대한설비공학회 2006 하계학술발표대회 논문집, pp. 657-662.