

인버터 로터리 압축기 오일 토출량 산정의 실험적 고찰

신현석* · 변순석* · 태상진** · 문제명** · 김윤제**

An Experimental Study on the Estimation of Oil Discharge Rate from Inverter Rotary Compressor

Hyun-Seok Sin*, Soon-Seok Byun*, Sang-Jin Tae**, Je-Myung Moon**, Youn-Jea Kim**

Key Words : Air-conditioning systems(에어컨 시스템), Inverter rotary compressor(인버터 로터리 압축기), Discharge rate(토출량), Evaluation method(평가방법), Refrigerant(냉매)

ABSTRACT

The inverter rotary compressor discharges refrigerant and compressor oil in air-conditioning systems. The compressor oil which discharged from compressor decreases the efficiency of heat exchanger and affects the compressor operation. Recently, several studies are in progress for reducing the compressor oil. Before the reduction of compressor oil discharge rate, the quantitative measurement and evaluation method are required. In order to cope with this requirement we have developed the measurement technic of oil discharge rate. The reliability assessment was carried out approximately 0.1% of the errors with compressor performance indicators. The acceptable errors were to ensure the reliability of measurement technic. In the experiment results at several conditions, The oil discharge rate of heating operation has been confirmed average 3.7 times more than cooling operation. In this study the evaluation method and the experimental results of oil discharge rate in air-conditioning systems are presented with various operating conditions.

1. 서 론

에어컨 시스템 내부의 인버터 로터리 압축기는 저온 저압의 냉매를 고온 고압으로 압축시켜 시스템 내 배관으로 냉매를 순환시키는 역할을 한다. 고온 고압의 냉매가 압축기에서 토출될 때 소량의 압축기 오일도 함께 토출되는데, 시스템 내 적은 양의 압축기 오일의 순환은 에어컨의 성능에 영향을 주지 않지만, 에어컨 배관 내 압축기 오일의 축적은 열교환기의 효율과 압축기 구동에 영향을 끼친다. 배관 내에 축적된 압축기 오일은 열교환기의 효율을 감소시키며, 오일 회수가 원활하지 못하면 압축기 구동시 윤활이 되지 않아 압축기 파손의 원인이 될 수도 있다. 이를 방지하기 위하여 압축기와 열교환기 사이에 오일 분리기를 설치하였고, 압축기에서 토출된 냉매와 오일은 오일 분리기를 지나 열교환기로 보내진다. 오일 분리기는 냉매와 오일을 분리시켜 압축기로 회수

하는 역할을 하며, 이는 시스템 배관 내 오일이 축적되는 것을 줄여준다.

에어컨 시스템 내부의 오일 거동은 에어컨 운전 효율과 신뢰성에 있어서 중요한 요소이다. 최근 에어컨 시스템 내부의 오일 거동 분석 및 토출 오일의 정량화를 위해 다양한 연구가 이루어지고 있으며, 특히, 냉매와 오일의 혼합물에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 먼저, 로터리 압축기 밸브의 동적 거동 해석을 위하여 유체-구조 연성 관계식을 검사 체적에 적용하는 해석 과정을 통하여 유체유동 관계식과 밸브 동적 관계식을 연립하는 수학적 모델링을 정리한 연구가 있다 [1]. 또한, 박민우 등[2]은 실제 기체 상태방정식을 사용하여 냉매의 열역학적 상태량을 구하고 실린더 내부에 에너지 보존 법칙과 질량 보존 법칙을 적용하여 회전각에 따른 압력변화와 온도변화를 구하는 열역학적 모델링을 제시하였다. 또한, 압축기 내부에서 발생하는 실린더 반경 방향의 누설량을 유체의 마찰을 고려한 Fanno 유동으로 모델링하여 계산하였다. 홍기수 등[3]은 오일이 모세관내의 냉매유동에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 R-22 냉매와 광유계통의 오일

* 성균관대학교

** 삼성전자

† 교신저자, E-mail : yjkim@skku.edu

4GS(VG 56)의 혼합물을 사용하여 오일농도 0%, 3.9%, 7.1%, 10.1%에 대하여 모세관 형상과 입구 조건을 변화시켜 가며 실험을 수행하였다. 모세관 형상을 변화시키면 내경이 클수록, 길이가 길수록, 모세관 입구조건을 변화시키면 입구 압력이 높을수록, 과냉도가 클수록, 건도가 작을수록 혼합물의 유량이 증가함을 밝혀내었다. 친환경적인 새로운 냉매의 개발은 그에 적합한 냉동기유의 개발을 가져왔고, 이에 냉매와 오일의 상용성에 관한 연구가 활발히 진행되었다. 김장년 등[4]은 R-410A/POE32와 R-410A/POE46 오일 혼합물에 대한 기-액상평형 자료와 상용성을 측정할 수 있는 실험 장치를 구성하여 오일 농도가 증가할수록 압력은 감소하며, 특히, 30 wt% 이상에서는 그 감소량이 급격히 증가함을 밝혀내었다. 조재필 등[5]은 가시화 기법을 이용하여 테스트 모델과 가시화창이 장착된 압축기 상부의 오일 거동 특성을 분석하였고, 새로운 정량화 기법 개발을 통해 압축기 내부 오일 거동 분석을 시도하였다.

본 연구에서는 실제 기동 중인 압축기의 오일 토출량 측정을 위하여, 압축기 오일 토출량 측정 기법을 개발하였고, 측정 기법의 신뢰성을 평가하였다. 또한, 압축기 오일 토출량 측정 실험을 통해 다양한 외기 조건에서 실제 가동 중인 압축기의 오일 토출량 측정을 시도하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

본 연구를 위하여 인버터 로터리 압축기를 채용한 CAC 용량가변형 에어컨을 칼로리미터 실험실에 설치하였다. 칼로리미터 실험실은 실내측, 실외측, 운전실, 기계실로 구성되어 있고, 제어판을 이용하여 실내/외 측 건/습구 온도를 설정할 수 있다. 본 실험에 사용된 압축기는 BLDC 모터를 사용하는 인버터 로터리 압축기로, 냉매로 R-410a를 사용하였고, 압축기 오일로 P.O.E. 오일을 사용하였으며, 압축기 오일의 용량은 1,100 cc 이다. 압축기의 최고 토출 압력은 3.29 MPa 이고, 실린더의 용량은 43 cc/rev이다.

Figure 1은 오일 토출량 측정 장치의 개략도를 나타내고 있다. 압축기에서 토출된 오일을 냉매와 분리시켜 그 양을 측정하기 위하여 압축기와 오일 분리기 사이에 또 하나의 오일 분리기를 설치하였고, 오일 분리기와 연결된 각각의 관에 총 4개의 단방향 on/off 밸브를 설치하였다. 각각의 밸브는 냉매와 오일 혼합물의 유동 방향을 바꿔 오일 추출을 위한 오일 분리기로 보내고, 오일 분리기에 모인 오일을 에어컨 시스템 내부의 유동과 격리시키는 역할을 한다. Figure 2는 압축기에서 토출된 오일을 측정하기 위해 실외기에 설치된 오일 분리기를 보여 주고 있다. 에어컨 내부의 안정성 확인을 위하여 압축기와 액분리기에 가시화창을 설치하였고, 가시화창 앞에 41만 화소의 칼라 CCD 카메라를 설치하였다.

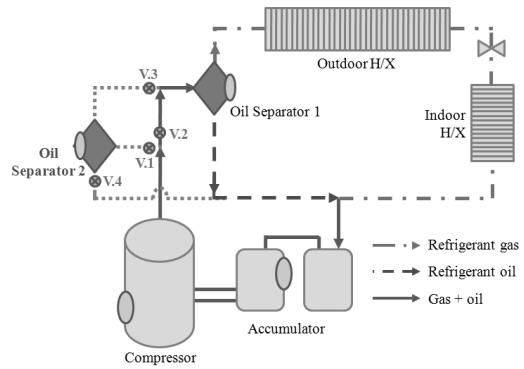


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus



(a) The 2nd oil separator



(b) One side on/off valves

Fig. 2 The experimental apparatus

2.2 실험 방법

2.2.1 측정 방법

압축기 오일 토출량 측정 실험은 4단계로 수행되었으며, Fig. 3은 각 단계별 유동 경로를 나타내고 있다. 1단계에서는 모든 밸브를 잠근 상태에서 가시화창을 통해 확인할 수 있는 압축기와 액분리기의 오일 유면이 일정해질 때까지 에

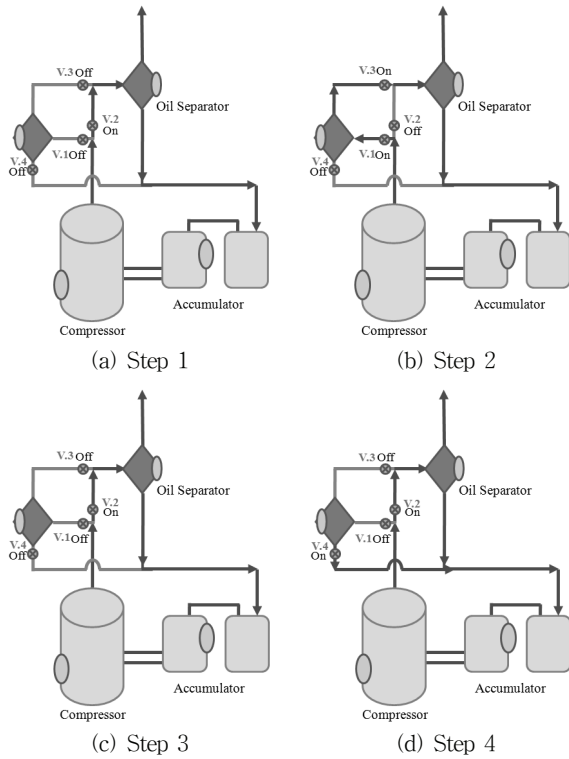


Fig. 3 The experiment procedure

어건을 운전시킨다. 압축기 및 액분리기의 오일 유면이 일정해지면 2단계로 2, 4번 밸브를 닫은 상태로 1, 3번 밸브를 열어 혼합물이 2번 오일 분리기를 통하여 시스템을 순환하도록 한다. 이때 4번 밸브가 닫혀 있기 때문에 2번 오일 분리기에서 냉매와 분리된 오일은 액분리기로 회수되지 못하고 2번 오일 분리기에 쌓이게 된다. 3단계로 2번 밸브를 열고 1, 3번을 닫아 2번 오일 분리를 시스템 내부 유동과 분리시킨 후, 오일 분리기에 모인 오일의 높이를 측정한다. 마지막 4 단계에서 4번 밸브를 열어 2번 오일 분리기에 모여 있는 오일을 액분리기로 회수시킨다.

혼합물에서 오일의 함유량을 나타내기 위해 OCR(Oil Circulation Rate)을 산정하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$OCR = \frac{\text{System에 순환되는 오일량}}{\text{System에 순환되는 냉매 + 오일량}} \quad (1)$$

2.2.2 실험 조건

압축기 오일 토출량 측정 기법의 신뢰성 확보를 위하여 압축기의 성능 지수인 OCR(Oil Circulation Rate)을 58 Hz와 72 Hz에서 측정하여 압축기 성능 데이터와의 비교 실험을 수행하였다. 또한, 본 연구를 위해 설치된 에어컨은 냉방과 난방이 모두 가능한 설비이기 때문에 다양한 조건에서 운전되므로 Table 1에서 보는바와 같이 4가지 운전 조건을 냉방 운전과 난방 운전에 걸쳐 총 8가지의 외기 조건에서 오일 토출

Table 1 The experimental conditions

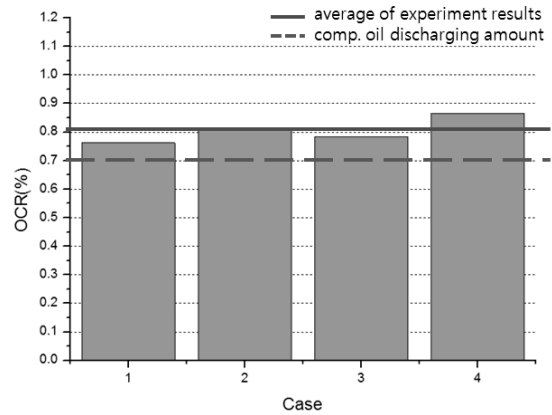
| Mode | No. | Variable | Condition [Dry bulb / Wet bulb] | |
|---------|-----|-----------|---------------------------------|-----------|
| | | | Indoor | Outdoor |
| Cooling | 1 | Standard | 27°C/19.5°C | 35°C/24°C |
| | 2 | Overload | 32°C/27.5°C | 43°C/33°C |
| | 3 | Low temp. | 21°C/15°C | 21°C/15°C |
| | 4 | On/off | 27°C/19.5°C | 35°C/24°C |
| Heating | 5 | Standard | 20°C/15°C | 7°C/6°C |
| | 6 | Overload | 27°C/15°C | 24°C/18°C |
| | 7 | Low temp. | 20°C/15°C | 2°C/0°C |
| | 8 | On/off | 20°C/15°C | 7°C/6°C |
| Comp. | 9 | Frequency | 58 Hz | |
| | 10 | Frequency | 72 Hz | |

량 측정 실험을 수행하였다.

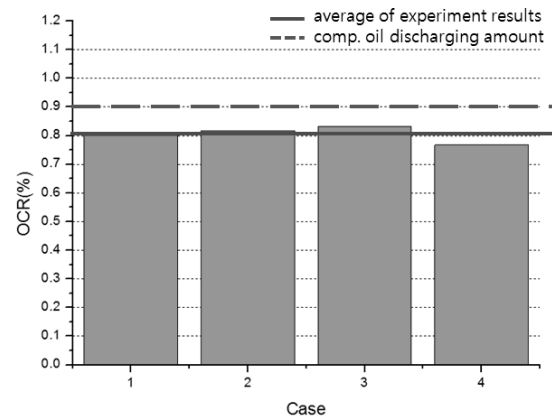
3. 실험결과 및 고찰

3.1 신뢰성 평가

압축기 제조사에서 제공한 압축기 성능 사양과의 비교를 통하여 본 연구에서 제안한 오일 토출량 측정 기법의 신뢰성



(a) The results of 58 Hz



(b) The results of 72 Hz

Fig. 4 The oil flow rate in on/off condition

을 확보하였다. Figure 4는 58 Hz와 72 Hz에서의 실험결과를 보여 주고 있다. 58 Hz에서 평균 0.806%로 압축기 제조사에서 제공한 압축기 성능 사양인 0.7%보다 0.106% 높게 나타났으며, 72 Hz에서 평균 0.804%로 압축기 성능 사양인 0.9%보다 0.096% 낮게 나타났다. 오차의 원인으로는 오일 추출 실험을 수행하기 전 오일 분리기 벽면에 남아있는 소량의 오일과 4개의 밸브를 동시에 조작함에 있어서 측정 시간과 혼합물 유입 시간이 정확히 일치하지 않음을 들 수 있다.

3.2 외기조건에 따른 오일 토출량 측정

Table 2는 냉/난방 운전 시 각 조건별 오일 토출량을 나타내고 있으며, Fig. 5는 단속 조건을 제외한 각 조건별 오일 추출량을 보여 주고 있다. 냉방 운전 시 평균 5.2kg/h의 오일이 토출되었고, 난방 운전 시 평균 19.95 kg/h의 오일이 토출됨을 확인할 수 있다. 이를 통하여, 냉방 운전 시 보다 난

Table 2 The experimental results

(a) The results of steady state

| Case | Discharge rate of refrigerant [kg/h] | Discharge rate of oil [kg/h] | OCR [%] |
|------|--------------------------------------|------------------------------|---------|
| 1 | 360 | 5.21 | 1.42 |
| 2 | 342 | 9.7 | 2.76 |
| 3 | 288 | 0.67 | 0.23 |
| 4 | 315 | 9.77 | 3.0 |
| 5 | 570 | 44.7 | 7.28 |
| 6 | 280 | 5.38 | 1.9 |

(b) The results of on/off operating

| Number of on/off | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------------------|---------|-------|------|------|------|
| Discharge rate of oil [kg/h] | Cooling | 12.1 | 6.67 | 6.67 | 7.6 |
| | Heating | 116.4 | 42.1 | 52.0 | 43.0 |
| Number of on/off | | 5 | 6 | 7 | |
| Discharge rate of oil [kg/h] | Cooling | 7.6 | 6.67 | 7.6 | |
| | Heating | 43.4 | 43.0 | 42.2 | |

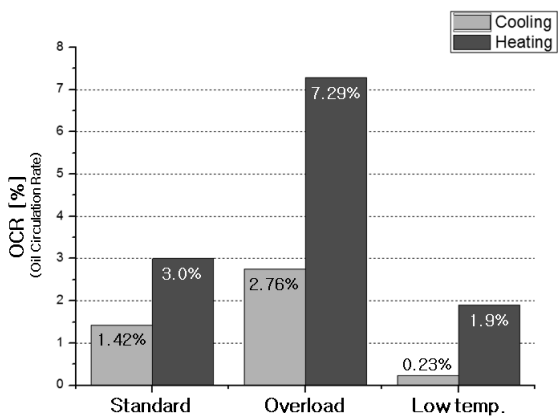


Fig. 5 The results of various conditions

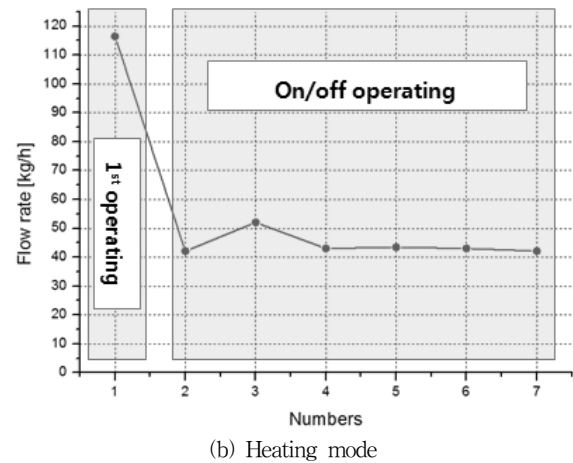
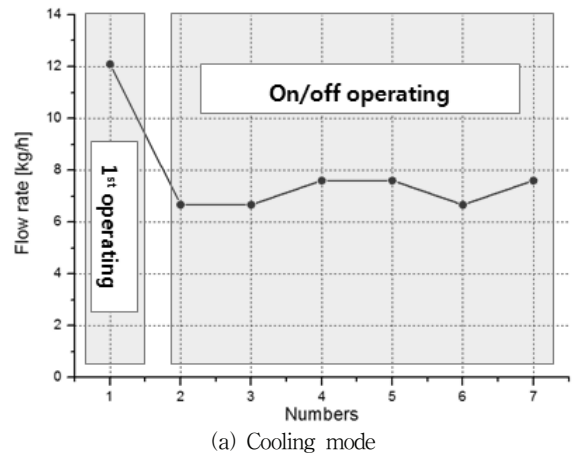


Fig. 6 The oil flow rate in on/off condition

방 운전 시 평균 3.8배의 오일이 토출됨을 확인하였다. 시스템 부하가 가장 적은 냉방 저온 운전 조건에서 0.67 kg/h로 가장 적은 양의 오일이 토출되었고, 시스템 부하가 가장 큰 난방 과부하 운전 조건에서 44.7 kg/h로 가장 많은 양의 오일이 토출되었다. 과부하 운전 조건에서 표준 운전 조건 대비 냉방 2배, 난방 4.5배 이상의 오일이 토출됨을 확인할 수 있다. 이는 에어컨에 걸리는 부하가 클수록 압축기 오일의 토출량이 증가함을 나타낸다. Figure 6은 단속 운전 조건에서 냉/난방 운전 시 오일 토출량을 나타내고 있다. 냉/난방 운전 모두 최초 기동 시 가장 많은 양의 오일이 토출되었고, 이후 on/off 기동에선 일정한 양이 토출됨을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 인버터 로터리 압축기의 오일 토출량 측정 기법을 개발하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 압축기 오일 토출량 측정 기법 개발을 통하여 다양한 외기 조건에서의 오일 토출량을 측정하고 이를 통해 정량적인 연구의 가능성을 제시하였다.
- 2) 오일 토출량 측정 기법 신뢰성 평가 결과, 58 Hz에서

0.106%, 72 Hz에서 0.096%의 오차가 발생하였지만 허용 가능한 오차로 본 연구에서 제안한 오일 토출량 측정 기법의 신뢰성을 확보하였다.

3) 조건별 토출량 측정 실험에서 냉방 운전 보다 난방 운전에서 평균 3.8배의 오일이 토출되었고, 이는 에에컨 시스템에 걸리는 부하가 클수록 많은 양의 오일이 토출됨을 보여 준다.

4) 본 연구에서 제안한 오일 토출량 측정 기법은 실제 에어컨 시스템에 부착하여 정량적인 측정이 가능하고, 에어컨 운전 성능에 영향을 주지 않으며, 1회성이 아닌 한번의 운전으로 다수의 오일 토출량 측정이 가능하고, 측정 시간이 짧고 방법이 간단하며, 측정 시기에 영향을 받지 않는다는 장점이 있다.

후 기

본 연구는 성균관대학교 미래가전연구센터(과제번호: 2009-0876-000)의 지원으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

(1) 마영찬, 석종원, 1996, “로터리 압축기 밸브계 동적 거동에 관한 연구,” 대한기계학회 춘계학술대회논문집(B), 76-81.

(2) 박민우, 정연구, 박영우, 박희용, 2000, “냉동기용 로터리 압축기의 모델링 및 시뮬레이션,” 대한기계학회논문집 B 권, 제24권, 1호, 39-49.

(3) 홍기수, 황일남, 민만기, 2000, “냉동기유가 모세관내의 냉매유량에 미치는 영향,” 설비공학논문집, 제12권, 9호, 791-801.

(4) 김창년, 송준석, 이은호, 박영무, 유재석, 김기현, 2000, “R-410A/POE 오일 혼합물의 기-액상평형과 사용성에 관한 연구,” 설비공학논문집, 제12권, 6호, 589-598.

(5) 조필재, 이승갑, 운영, 고훈서, 2005, “가시화 기법을 이용한 로터리 압축기 상부의 오일 거동 분석,” 설비공학논문집, 제17권, 8호, 772-779.

(6) Zhang, L.H., Xiao, H., Zhang, H.T., Xu, L.J., Zhang, D., 2007, “Optimal Design of a Novel Oil-Water Separator for Raw Oil Produced from ASP Flooding,” Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 59, No. 3-4, pp. 213~218.

(7) Cremaschi, L., Hwang, Y., Radermacher, R., 2005, “Experimental Investigation of Oil Retention in Air Conditioning System,” International Journal of Refrigeration 28, pp. 1018~1028.

(8) Fukuta, M., Yanagisawa, T., Omura, M., Ogi, Y., 2005, “Mixing and Separation Characteristics of Isobutene with Refrigeration Oil,” International Journal of Refrigeration 28, 997~1005.