

## 두 대의 압축기를 적용한 에어컨의 오일분배 특성에 관한 실험적 연구

김 철 민<sup>†</sup>, 황 윤 제, 정 백 영  
디지털 어플라이언스 연구소 에어컨그룹

### The Experimental Study on Uniform Distribution of Oil at the Air Conditioning System using Two Compressors

Cheol Min Kim<sup>†</sup>, Yoon Jei Hwang, Baik Young Chung

*Air Conditioner Group, Digital Appliance Research Laboratory 327-23, Seoul 153-802, Korea*

*(Received June 27, 2002; revision received December 18, 2002)*

**ABSTRACT:** The common accumulator was designed for solving the maldistribution problem of oil at the air conditioning system with two compressors. The oil level inside two compressors was visualized by using a common accumulator on the various operating conditions. As a result of the visualization, oil distribution inside two compressors was achieved appropriately according to the capacity of each compressor. Uniform distribution of oil was also accomplished at on and off operation condition.

**Key words:** Common accumulator(공용 어큐플레이터), Two compressors(두 대의 압축기)

#### 기 호 설 명

$A_o$  : 오일리턴 홀 단면적 [ $m^2$ ]  
 $A_r$  : L-Tube 단면적 [ $m^2$ ]  
 $DB$  : 건구온도 [ $^{\circ}C$ ]  
 $\dot{m}$  : 질량유량 [ $kg/s$ ]  
 $P$  : 압력 [ $MPa$ ]  
 $V$  : 속도 [ $m/s$ ]  
 $WB$  : 습구온도 [ $^{\circ}C$ ]

#### 그 리 스 문 자

$\rho$  : 밀도 [ $kg/m^3$ ]

#### 하 침 자

*oil* : 오일의 상태량  
*ref* : 냉매의 상태량  
 (1) : 위치 (1)의 상태량  
 (2) : 위치 (2)의 상태량  
 (3) : 위치 (3)의 상태량

#### 1. 서 론

국내뿐만 아니라 전 세계적으로 지구온난화 방지, 환경오염 및 자원고갈 등의 문제점으로 인해 정부의 에너지 사용규제가 점차 강화됨에 따라서 공조기의 냉방기간 에너지 소비효율(Cooling Seasonal Performance Factor, CSPF)을 향상시키려는 연구가 진행되고 있다. 예를 들어 공조시스템의 압축기 정지시 고압측 냉매의 저압측 이동으로 인한 효율 저하<sup>(1)</sup> 및 이에 따른 압축기 재기동시 냉방능력이 안정상태의 능력에 도달하는 데

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-2-818-7825; fax: +82-2-856-0313

E-mail address: kcm@lge.com

걸리는 시간 지연 등으로 인한 효율저하 문제<sup>(2,3)</sup> 등이 연구되었다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 용량가변 압축방식 중에서 연간 전기사용료 및 제품가격 측면에서 유리한 두 대의 압축기를 사용하는 시스템<sup>(4,5)</sup>이 멀티 및 대형 공조기에서 적용되고 있으나 실내기 및 실외기가 각각 한 대씩으로 구성된 시스템에서는 오일분배 문제 등으로 인해 적용이 되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 두 대의 압축기를 적용한 시스템의 오일 균일 분배 문제를 해결하기 위한 실험을 수행하였다.

## 2. 이론 및 실험

### 2.1 오일 불균일 분배 현상

두 대의 압축기를 사용하는 시스템의 오일 불균일 분배 현상이 발생하는 이유를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서와 같이 실내 열교환기에서 증발된 기체상태의 냉매는 두 대의 압축기로 나누어져 흡입되는데 이 부분에서 오일 불균일 분배 현상이 발생하게 된다. 이 부분을 통과하는 기체상태의 냉매와 오일은 환상류(annular flow)로서관의 중심을 지나는 기체상태의 냉매는 압축기의 용량에 따라 분배가 가능하지만 관의 벽면을 따라 흐르는 오일은 분배기의 형상, 설치각도 및 압축기의 운전상태에 따라 분배되는 양이 다르게 된다. 따라서 기존 제품에서는 압축기 토출부에

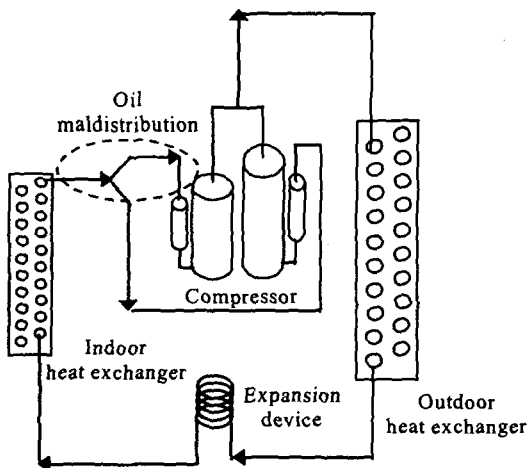


Fig. 1 Schematic diagram of the system with two compressors.

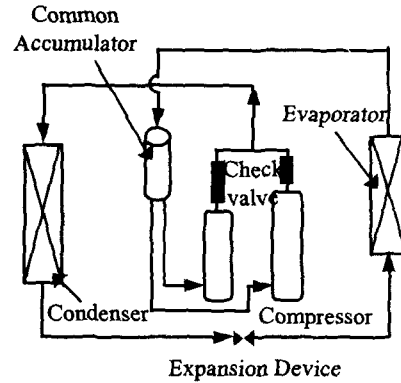


Fig. 2 Schematic diagram of the system using a common accumulator.

오일분리기를 설치하거나 두 대의 압축기 사이에 오일을 공유할 수 있는 균유관을 설치하여 오일 분배를 실현하였지만 가격이 상승하고 구조가 복잡해지는 문제점이 있었다.

### 2.2 오일 균일 분배 원리

본 연구에서는 오일 균일 분배를 실현하기 위해 Fig. 2와 같이 공용 어큐뮬레이터(common accumulator)를 이용하여 시스템을 구성하였다. 증발기에서 증발된 냉매는 공용 어큐뮬레이터로 유입된 후 공용 어큐뮬레이터에서 기체상태의 냉매와 액체상태의 냉매로 분리된다. 이때 기체상태의 냉매와 함께 오일이 회수되는 원리는 Fig. 3의

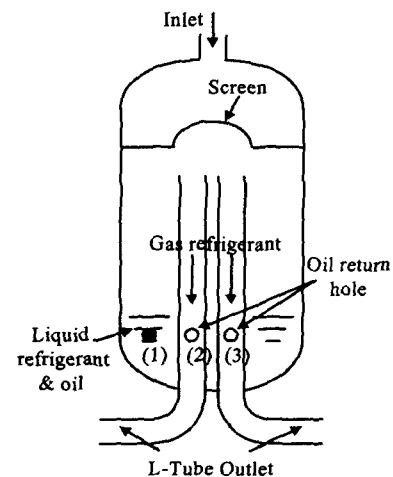


Fig. 3 Schematic diagram of the common accumulator.

공용 어큐물레이터의 개략도를 통해서 알 수 있다. Fig. 3에서와 같이 공용 어큐물레이터 입구에 흡입된 냉매는 스크린(Screen)을 지나면서 불순물이 제거되고 액상의 냉매와 오일은 밑부분에 쌓이게 되고 기체상태의 냉매만이 L형상 튜브(L-Tube) 출구를 지나 각각의 압축기로 흡입된다. 이때 밑부분에 쌓인 오일은 오일리턴 홀을 통해 기체상태의 냉매와 함께 압축기로 회수된다. Fig. 3의 (1), (2)의 위치에서 베르누이 식을 적용하면 식(1)과 같이 표시할 수 있다.

$$\frac{P_{(1)}}{\rho} + \frac{V_{(1)}^2}{2} = \frac{P_{(2)}}{\rho} + \frac{V_{(2)}^2}{2} \quad (1)$$

식(1)에서  $V_{(1)}=0$ 이므로 식(2)와 같이 정리할 수 있다.

$$V_{(2)} = \left( \frac{2(P_{(1)} - P_{(2)})}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

또한, 오일리턴 홀을 통해 회수되는 오일의 양 및 L-tube를 지나는 냉매유량은 식(3)과 식(4)로 표시될 수 있다.

$$\dot{m}_{oil} = \rho \times A_o \times V_{(2)} \quad (3)$$

$$\dot{m}_{ref} = \rho \times A_r \times V_{(2)} \quad (4)$$

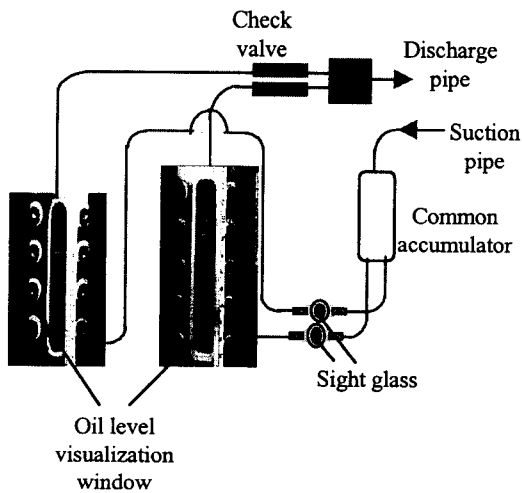


Fig. 4 Schematic diagram of visualization test unit.

위의 식(3)에서와 같이 오일리턴 홀을 통해 회수되는 오일의 양은 (2)위치에서의 냉매의 속도에 비례하며 냉매의 속도는 식(4)에서와 같이 냉매 유량이 증가함에 따라 증가하므로 오일리턴 홀을 통해 회수되는 오일의 양은 냉매의 유량이 증가함에 따라 증가하게 된다. 따라서, 공용 어큐물레이터에서의 오일회수 양은 Fig. 3의 오일리턴 홀 (2) 및 (3)의 위치에서의 냉매의 유량에 따라 결정되며 각 위치에서의 냉매유량은 식(5), 식(6)으로 표시될 수 있다.

$$\dot{m}_{(2)} = \rho \times A_r \times V_{(2)} \quad (5)$$

$$\dot{m}_{(3)} = \rho \times A_r \times V_{(3)} \quad (6)$$

위의 식(5) 및 식(6)에서의 냉매의 유량은 압축기 용량비율에 따라 결정된다. 예를 들어, 압축기의 용량비율이 6 : 4라고 가정하면 L-Tube를 지나는 냉매유량비율도 6 : 4로 분배되며 냉매의 밀도 및 L-Tube의 단면적이 동일하므로 냉매의 속도 비율도 6 : 4로 이루어진다. 따라서 앞서 설명한 바와 같이 오일리턴 홀을 지나는 오일의 양은 냉매의 속도에 비례하므로 각각의 압축기로 회수되는 오일의 양도 6 : 4의 비율로 되어 각각의 압축기 용량비율에 따라 오일회수가 가능하게 된다.

### 2.3 실험장치

본 연구에서는 압축기내 오일 균일 분배 현상을 관찰하기 위하여 Fig. 4와 같이 공용 어큐물레이터 출구에서 오일회수 양의 차이를 정성적으로 관찰하였으며 동시에 압축기 측면에 유면 가시화창을 설치하여 여러 운전조건에서 시간에 따른 압축기 내부의 유면 높이를 측정함으로써 공용 어큐물레이터의 적용 가능성을 분석하였다.

### 2.4 실험대상 압축기 종류

본 실험에 사용된 압축기의 상세 Spec.은 Table 1에 표시되어 있으며 압축기의 용량비율은 6 : 4로 선정하여 실험하였다.

Table 1 Compressor specifications

| Capacity ratio | Maker | Capacity | Type   |
|----------------|-------|----------|--------|
| 60%            | LG    | 4,542 W  | Rotary |
| 40%            | LG    | 2,974 W  | Rotary |

Table 2 Test conditions

| Condition | Indoor temp. | Outdoor temp. |
|-----------|--------------|---------------|
| Cooling   | DB 27°C      | DB 35°C       |
| Standard  | WB 19.5°C    | WB 34°C       |
| Cooling   | DB 21°C      | DB 21°C       |
| Frosting  | WB 15°C      | WB 15°C       |

Table 3 Operating conditions

| Capacity | Mode       | Time   |
|----------|------------|--------|
| 100%     | Continuous | 2.5 hr |
| 40%      | Continuous | 2.5 hr |

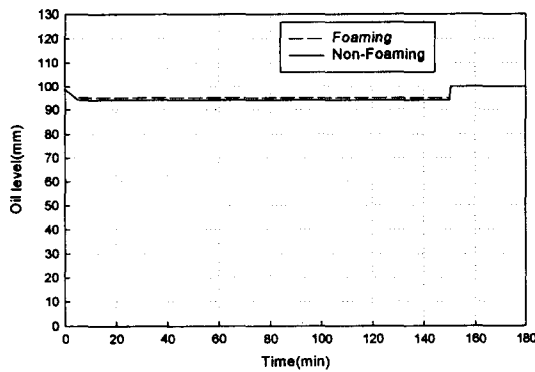
2.5 실험조건

실험은 Table 2의 실험조건과 같이 냉방표준 및 결빙조건에 대해서 실시하였으며 조건선정 이유는 가장 많이 운전되는 조건과 오일회수 측면에서 불리한 두 가지 조건을 선정하였다. 압축기 운전에 따른 운전시간은 Table 3에 표시되어 있다. 또한, 위와 같이 연속운전뿐만 아니라 단속운전 실험을 통해서도 용량이 다른 압축기 내부의 유면 높이를 측정하여 오일의 균일 분배를 관찰하였으며 단속운전에 대한 압축기 운전 형태는 Fig. 5에 표시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연속운전

Fig. 6은 냉방표준조건에서 압축기 운전용량이



(a) Oil level of capacity 60% compressor

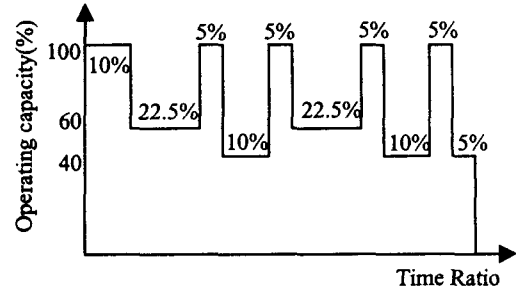
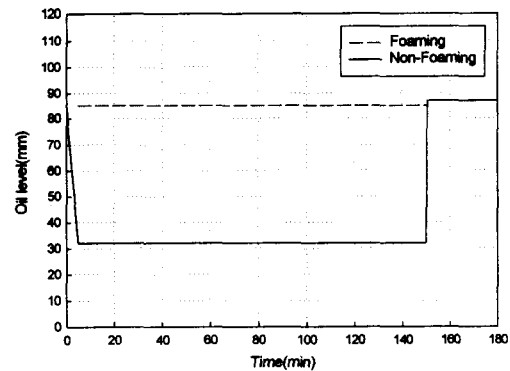


Fig. 5 On/off operating conditions of compressor capacity.

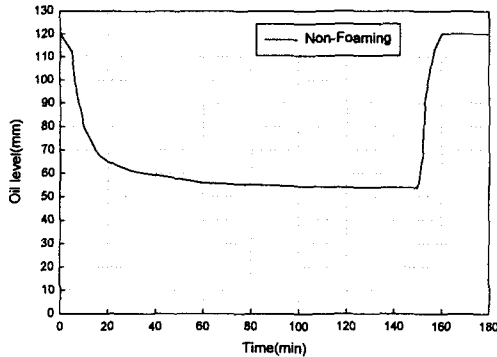
100%인 경우 운전시간에 따른 각각의 압축기 내부의 유면 높이의 변화를 나타낸 것으로서 압축기내 유면은 운전 후 약 10분 정도가 경과하면 시스템이 안정상태에 도달하여 일정한 높이를 유지함을 알 수 있으며 두 대 압축기 모두 2시간 30분 운전 후 두 대 모두 정지하였을 때 압축기내 오일 유면은 최초 오일 봉입 후의 유면 높이와 비슷한 상태를 유지한다. 초기 기동전의 오일의 유면이 봉입한 유면보다 높은 이유는 냉매와 섞여 있기 때문이며 정지 후에도 다소 냉매가 섞여 있어서 유면이 상승함을 알 수 있다. 한편, 용량이 60%인 압축기의 경우는 오일 포밍(foaming) 현상이 거의 없고 용량이 40%인 압축기의 경우에는 포밍현상이 발생하지만 압축기 밀면의 오일펌프 입구보다 높은 유면에서 포밍이 발생하므로 압축기 마모 등은 발생하지 않는 것으로 압축기 절개 결과 확인되었다.

Fig. 7은 냉방표준조건에서 운전용량이 40%인 압축기 한 대만을 운전하였을 경우 운전시간에

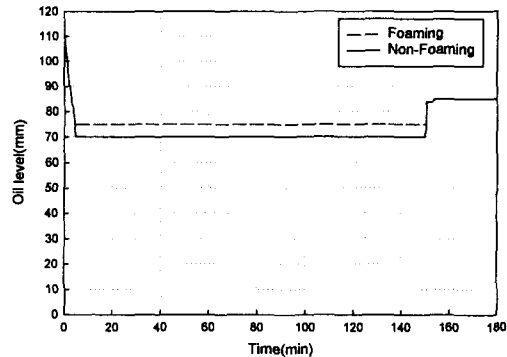


(b) Oil level of capacity 40% compressor

Fig. 6 Oil level inside compressor according to 100% operating condition.



(a) Oil level of capacity 60% compressor



(b) Oil level of capacity 40% compressor

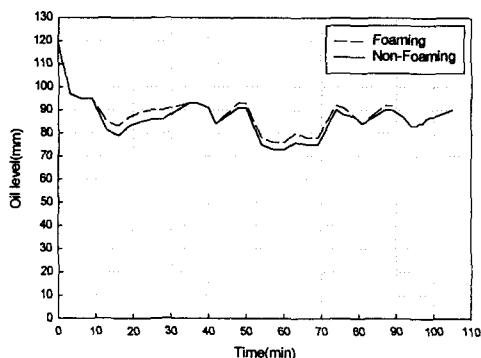
Fig. 7 Oil level inside compressor according to 40% operating condition.

따른 각각의 압축기 내부의 유면 높이 변화를 나타낸 것으로 정지한 용량이 60%인 압축기의 유면은 점차 강하한 후 어느 시점이 되면 일정하게 유지된 후 압축기가 정지함과 동시에 유면은 급격하게 상승함을 보여주고 있으며 운전중인 용량 40% 압축기의 유면은 100% 운전의 경우와 같이 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 정지한 압축기 내에서 이와 같은 유면변화 현상이 발생하는 이유는 다음과 같다. 압축기 한대 운전시 정지한 압축기 셀 내부는 역지반(Check valve)으로 차단되어 정지하기 전의 고압을 유지하고 있고 흡입부는 운전중인 압축기의 흡입압력과 동일한 저압 상태로 유지되고 있다. 이러한 고압과 저압의 차이에 의해 압축기 셀 내부에 있는 오일은 오일공급 홀을 지나 실린더와 로울러(Roller) 사이의 틈새를 통해 흡입배관으로 빠져나가게 됨과 동시에 고압 셀 내부의 압력이 점차 강하함에 따라 오일

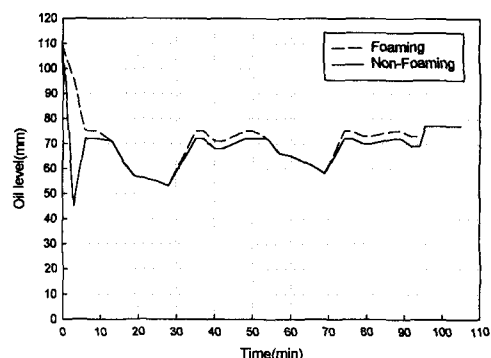
에 용해되어 있던 냉매가 조금씩 증발하여 유면은 다시 하강하게 되며 모든 상태가 평형이 되면 유면은 일정하게 유지된다. 그후 운전중인 용량이 40%인 압축기가 정지함과 동시에 운전중이었던 압축기 토출부의 고압, 즉 응축압력과 증발압력이 평형에 도달하게 되고 이로 인해 흡입배관의 압력은 상승하게 된다. 상승된 흡입압력과 정지상태였던 용량이 60%인 압축기 셀 내부의 낮은 압력 차이에 의해서 용량이 60%인 압축기의 흡입배관에 있던 오일이 순간적으로 유입되어 압축기 내부의 유면은 상승하게 된다. 또한, 냉방결빙조건에서의 실험결과도 냉방표준조건과 거의 유사한 결과로 확인이 되었다.

### 3.2 단속운전

Fig. 8은 Fig. 5와 같은 단속운전에 의해 냉방표



(a) Oil level of capacity 60% compressor



(b) Oil level of capacity 40% compressor

Fig. 8 Oil level inside compressor according to on/off operating condition.

준조건에서 실험한 압축기내 유면변화를 나타낸 것으로 두 대 압축기 모두 전체 운전시간 동안 적정유면을 유지하고 있음을 알 수 있으며 두 대 압축기 모두 정지 후에도 각각 일정한 유면을 유지하고 있음을 알 수 있다. 앞서 설명한 바와 같이 압축기 한 대 운전시에는 정지한 압축기의 유면은 하강하지만 다시 운전을 하거나 압축기 모두 정지하게 되면 압축기 내부로 오일이 흡입되어 적정유면을 유지하고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 용량이 다른 두 대의 압축기를 적용한 시스템의 오일 균일 분배 문제를 해결하기 위해 공용 어큐물레이터를 사용하여 압축기내 오일 유면 가시화 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 냉방표준조건과 냉방결빙조건에서 압축기 두 대를 운전시켰을 때 압축기내 유면을 가시화하여 관찰한 결과 각각의 압축기로의 오일 회수량이 적음에 따른 압축기내 유면저하 현상은 윤택불량에 의해 압축기 파손을 발생할 만큼 크게 나타나지 않았다.

(2) 압축기 한 대 운전시에 정지한 압축기의 유면저하 현상은 발생되지만 운전중인 한 대의 압축기가 정지함과 동시에 흡입배관으로 빠져나간 오일이 재유입 됨에 따라 정지한 압축기의 재기동시 파손의 문제점은 없었다.

(3) 두 대의 압축기를 교대로 단속운전하였을 때 각각의 압축기내 유면을 관찰한 결과 두 대의

압축기 모두 적정유면을 유지하고 있음을 알 수 있었다.

(4) 공용 어큐물레이터를 적용하여 용량이 다른 두 대의 압축기내 유면을 압축기 용량에 따라 일정하게 유지할 수 있다.

#### 참고문헌

1. Isao Hayase, 1999, Trends in Technology for Component Compressor, 冷凍, Vol.74, No. 863, pp.13-17.
2. Tassou, S. A., Marquand, C. J. and Wilson, D. R., 1983, Comparison of the Performance of Capacity Controlled and Conventional On/Off Controlled Heat Pumps, Applied Energy, Vol. 14, pp. 241-256.
3. Ikemoto, Y., 1999, Economic/Environmental Aspect of Modulation, Refrigeration (in Japanese), Vol. 74, No. 863, pp. 63-67.
4. Ryu, Y.H. et al., 2002, Benchmark Performance Analysis of Vapor Compressor System with Capacity Modulation Compressor, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 2, pp. 98-107.
5. Kim, C.M. et al., 2001, The Experimental Study on the Comparison in Performance of the System which used modulated compressors, Proceedings of the SAREK 2001 summer annual conference (III), pp. 1114-1120.