

로터리 압축기 상부 및 토출관 가시화에 의한 토유 오일 분석

조 필 재, 성 춘 모*, 신 창 주*, 고 한 서†

성균관대학교 기계공학과 대학원, *삼성전자 DA총괄 RC개발, †성균관대학교 기계공학부

Analysis of Discharged Oil Using Visualization Technique for Upper Part and Discharging Pipe of Rotary Compressor

Pil-Jae Cho, Sung Chun Mo*, Shin Chang Joo*, Han Seo Ko†

ABSTRACT: An efficiency of a refrigeration cycle and a reliability of a compressor can be reduced if a refrigerant including excessive lubricating oil is exhausted from a rotary compressor. Thus, the oil behavior inside the compressor should be analyzed to improve the efficiency. A tested rotary compressor has been manufactured with visualization windows at upper parts in this study to investigate the oil behavior using developed visualization techniques. Discharge pipe with level gage has been visualized to investigate discharged oil amount. The oil behaviors inside the compressor and discharging pipe at various operating conditions have been analyzed. The results of the visualization for the discharging pipe have been compared with those of the upper part to confirm the accuracy.

Key words: Rotary compressor(로터리 압축기), Oil behavior(오일 거동), Quantification(정량화), Flow visualization technique(유동 가시화 기법), Average Intensity(평균 밝기), Operating Condition(운전 조건), Oil Circulation Rate(오일 순환비)

기 호 설 명

- I : Intensity[%]
- I_{avg} : 평균 밝기[%]
- M : 캡처 이미지 행수
- N : 캡처 이미지 열수
- P_c : 응축기 내부 압력
- P_e : 증발기 내부 압력
- T_s : 압축기 입구 온도

1. 서 론

현재 가정용 룸 에어컨에서 주로 채용되고 있

는 로터리 압축기의 신뢰성 향상⁽¹⁾을 위한 노력은 다각도에서 진행되고 있으나 오일 토유량 저감 기술에 대한 연구는 아직 미미한 상태이다. 압축기 내부 오일이 순환 냉매에 의해 과다 토출될 경우, 응축기로 유입된 오일은 냉각관 표면에 유막을 형성하여 열전달 특성을 저하시킨다. 또한, 팽창밸브의 동결과 증발온도 상승에 의한 냉동 능력 감소 및 압축기 내부 오일 부족 현상을 초래한다. 따라서, 압축기의 신뢰성 및 에어컨 사이클의 성능 향상을 위해 압축기 내부 오일의 과다 토유 억제가 필요하다.

현재까지 토유량 저감 기술^(2,3)은 오일 순환 경로 변경에 의해 압축기 상부에서의 냉매 유속을 감소시킴으로써 발생하는 밀도 차에 의한 오일 분리 방법, 에이컨 사이클의 설계 및 운전 방법 개선, 그리고 압축기 내부에 오일 억제 기구 설계 방법⁽⁴⁾ 등에 의해 시도 되었으며, 각각의 유효

†Corresponding author

Tel.: +82-31-290-7453; fax: +82-31-290-5889

E-mail address: hanseoko@yurim.skku.ac.kr

대상들 즉, 축의 입구, 주 저널 베어링과 보조 저널 베어링, 압축 챔버와 석션부의 회전 끝단의 갭을 통한 오일 누수 등에 대한 연구⁽⁵⁻⁹⁾가 주를 이루었다. 하지만, 이러한 연구는 불투과성 물질 때문에 내부 오일 거동에 대한 정확한 데이터 없이 시도된 것이다. 명확한 오일 저장 및 오일 분리 시스템의 설계를 위해서는 다양한 조건하에서 압축기 내부의 오일 거동 분석 및 토유 오일 정량화가 이루어져야 한다.

그 선행 연구로 로터리 압축기 상부의 오일 거동 가시화 모델을 제작한 후 압축기 상부에 존재하는 오일의 양이 많을수록 토출량이 증가한다는 가정 하에 실험을 수행하여 압축기 토출구 압력과 증발기 압력 및 압축기 입구 온도에 대한 상관 관계를 규명하였고, 전체 압축기 내부의 오일 순환의 원활성과 압축기 내부 각각의 윤활 요소에 대한 윤활유의 거동 파악을 위해 상부 및 머플러부의 가시화를 통한 오일의 거동 특성을 분석하였다. 하지만 처음 가정하였던 상부의 오일이 많을 수록 많은 양의 오일이 토출된다는 가정에 대한 증명 없이는 현재까지 실험에 대한 타당성 증명이 어려우므로 본 연구에서는 가시화 기법⁽¹⁰⁾을 이용하여 상부 가시화창이 장착된 압축기와 토출관부에 레벨게이지를 설치한 후 상부의 오일량과 실제 토출량의 상관관계를 분석하고 현재까지 연구의 타당성을 증명하였으며 머플러 타입별 로터리 압축기 내부 및 토출관 내부의 오일 거동 분석을 수행하였다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 정량화 기법

압축기 및 테스트 모델 내부의 오일은 대부분 구 형태를 가지기 때문에 오일은 모든 방향으로 빛을 반사 또는 굴절 시킨다. 따라서 Laser Sheet에 투영된 오일이 CCD카메라에 촬영될 경우 밝은 부분으로 존재하게 되며, 만약 오일의 양이 증가하게 되면 Fig. 1에서와 같이 촬영된 영상 중 오일 부분의 밝은 영역이 증가하게 된다. 이러한 원리를 이용하여 압축기 내부 및 토출관의 오일량을 계산할 수 있다. Fig. 2의 (a), (b)는 상부와 토출관부의 촬영 영상에 대한 계산 영역 결정 방법을 나타낸 것으로 이전에 수행한 상부 모델에

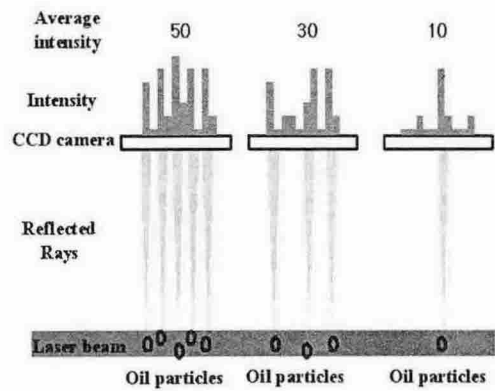
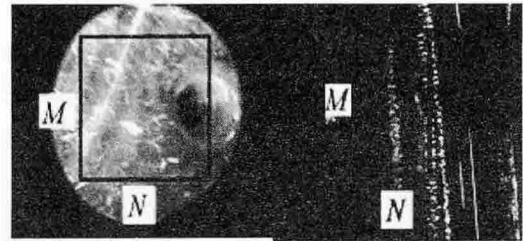


Fig. 1 Principle of quantification of intensity



(a) Upper Part (b) Discharge pipe

Fig. 2 Area for calculation

대한 실험과 비교하기 위해 상부 계산영역을 530 X 430 pixel로 같게 설정하였으며, 토출관부의 계산영역은 550 X 190 pixel로 범위를 설정하고 식 (1)을 이용하여 각 조건에 대한 60장의 영상의 평균 밝기(Average intensity) I_{avg} 를 구하였다.

$$I_{avg} = \frac{\sum_{i=0}^{M \times N} K(i)}{256 * (M \times N)} \times 100\% \quad (1)$$

위 식에서 M , N 은 평균밝기를 구하기 위한 영상 pixel의 행과 열의 개수를 나타내며, 8bit의 최대 밝기는 255이다.

2.2 가시화용 로터리 압축기

실제 로터리 압축기 외부는 Fig. 3과 같이 불투명 물질로 덮여 있어 가시화창 장착을 위한 설계 변경 없이는 레이저를 이용한 압축기 내부 가시화가 불가능하다. 따라서, 압축기 상부의 오일 거동 가시화를 위해 레이저 투과가 가능한 석영을 이용하여 도넛 형상의 측면 가시화를 위한 가시

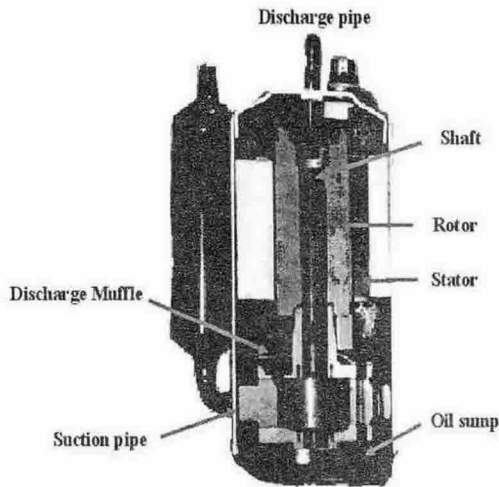
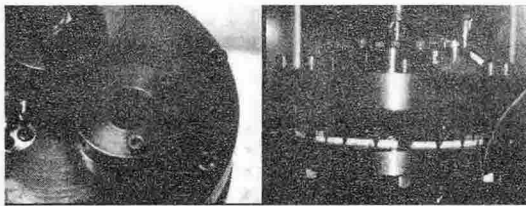


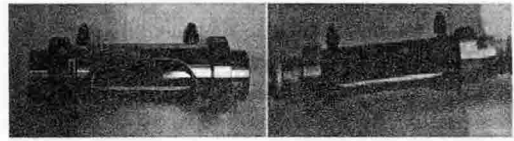
Fig. 3 Cross-sectional view of rotary compressor



(a) Top view (b) Side view

Fig. 4 Photographs of rotary compressor with visualization windows

화창과 단면 가시화를 위한 원형 디스크 형상의 가시화창을 제작하였다. Fig. 4는 가시화창이 장착된 사진이며, 설치된 가시화창은 안정성 확보를 위해 실제 운전 조건의 3배인 60atm까지 정적 내압 테스트를 실시하였다. 또한, 가시화창을 충격으로부터 보호하기 위해 0.2mm 두께의



(a) Before assembly (b) After assembly

Fig. 5 Photographs of level gage

Polymer Film을 가시화창 상하부에 장착하였다.

실험의 영상획득을 위해서는 8bit (0~255)의 영상 깊이와 1024 X 768 해상도를 가진 소니사의 HR70C 모델을 사용하였다. 모든 실험에서 카메라 노출시간은 1/2000 sec, 렌즈의 aperture number 는 f/8로 고정하여 실험을 수행하였다.

Fig. 5 (a)는 압축기 전용 칼로리미터에 사용되는 Level gage이다. 이것을 이용하여 토출관 가시화를 시도하였다. Level gage의 직경은 실험용 패키지 에어컨의 토출관 직경과 같은 1/2(inch)로 주문 제작하였으며, 가시화 영역 주변을 감싸고 있는 금속에 의한 산란을 최소화하기 위해 Fig. 5 (b)에서 보는 바와 같이 방사 페인트로 도색을 하였다.

Fig. 6은 상부 가시화 모델과 level gage가 결합되어 있는 것을 나타내고 있다. level gage는 그림에서 보는 바와 같이 수직으로 토출관에 연결시켰다. 왜냐하면 수평으로 설치할 경우 압축기 토출구와 결합되는 부위와 너무 인접하여 시료 교체 시 파손의 우려가 있기 때문이다. 또한, 수평의 경우 level gage 아래에 계면을 형성할 것으로 판단되기 때문에 레이저 투과 시 오차 증가가 예상되며, 실제 유동 오일에 의해 증발기와 응축기에서 유막을 형성하여 열전달 특성을 저하시키므로 수직으로 level gage를 설치하였다. 그리고, 3

Table 1 Conditions of visualization experiment

No	Name	Parameter	P_e (atm)	P_c (atm)	T_s ($^{\circ}$ C)
1	ASHRAE-T	Standard	6.37	21.90	25.0
2	High condensing pressure	P_c	6.37	24.76	25.0
3	Low condensing pressure		6.37	17.64	25.0
4	High evaporating pressure	P_e	6.93	21.90	25.0
5	Low evaporating pressure		5.08	21.90	25.0
6	Ultra-low evaporating pressure		3.62	21.90	25.0

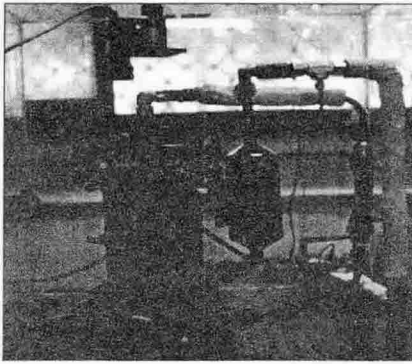


Fig. 6 Photograph of rotary compressor with discharge pipe

가지 type의 머플러를 교체하면서 실험을 수행하였다.

선행 연구에서 관계가 거의 없다고 밝혀진 압축기 입구 온도 변화에 따른 Intensity 변화 실험은 배제한 후, Table 1에 주어진 바와 같이 ASHRAE-T 표준 압축기 성능 평가 조건과 증발기 압력 및 응축기 압력 변화에 따른 내부 평균 밝기 변화를 조사하였다. Fig. 7은 측정 장치 개략도이며, 상부 및 토출관을 동시에 측정하기 위해 레이저 수평광을 생성하여 상부의 영상을 획득

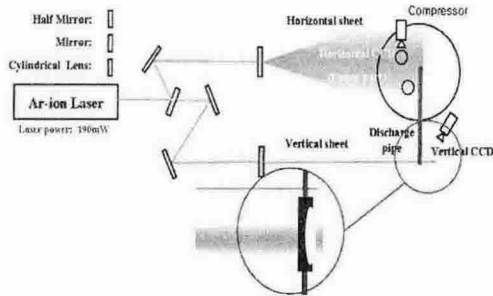
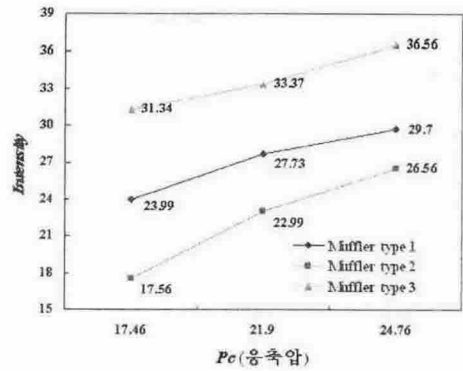
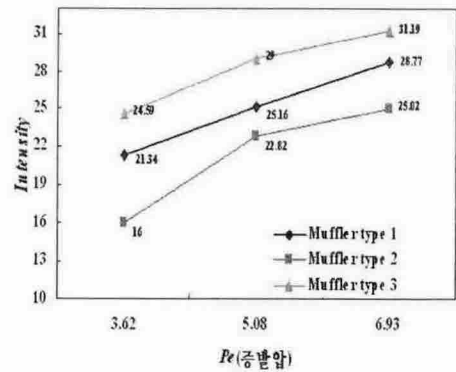


Fig. 7 Schematic diagram of laser setup



(a) Condensing pressure



(b) Evaporating pressure

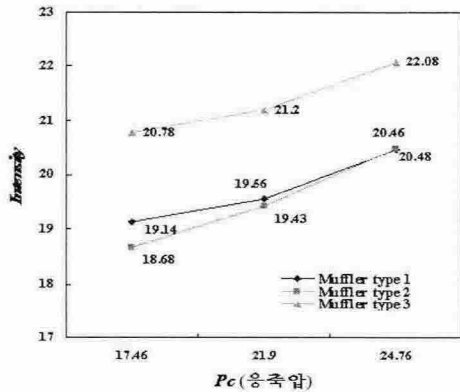
Fig. 8 Relationship between pressure and intensity for upper part of 3 muffler types

특하고, 수직광을 이용하여 토출관부의 오일 거동 영상을 획득하였다.

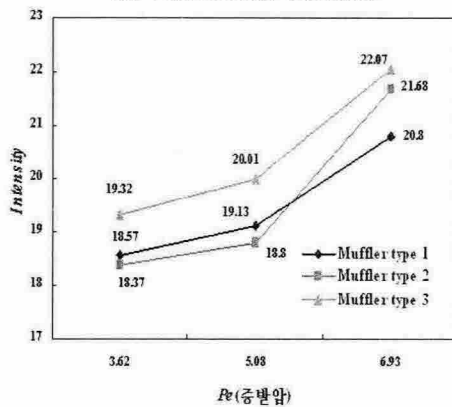
레이저광은 Half Mirror에 의해 2개의 빛으로

Table 2 Average intensities for upper and discharge pipe by muffler type

Conditon No.	Parameter	Muffler type 1		Muffler type 2		Muffler type 3	
		Upper part(%)	Discharge pipe(%)	Upper part(%)	Discharge pipe(%)	Upper part(%)	Discharge pipe(%)
1	Standard	27.73	19.59	22.99	19.43	33.37	21.20
2	P_c	29.70	20.46	26.56	20.48	36.56	22.08
3		23.99	19.14	17.56	18.68	31.34	20.78
4		28.77	20.80	25.02	21.68	31.19	22.07
5	P_e	25.16	19.13	22.82	18.80	29.00	20.01
6		21.34	18.57	16.00	18.37	24.56	19.32



(a) Condensing pressure



(b) Evaporating pressure

Fig. 9 Relationship between pressure and intensity for discharging pipe of 3 muffler types

분리되고, 그때 강도가 절반으로 감소하게 되므로 레이저 강도를 190mW로 세팅하여 실험을 수행하였다.

3. 실험 결과 및 논의

Table 2는 각 시료의 성능 평가 조건에 따른 상부 및 토출관에서의 Average intensity를 나타낸 도표이다. 이전의 실험 결과와 마찬가지로 응축기와 증발압력이 증가할수록 압축기 내부의 Average intensity는 증가하며 그와 비례적으로 토출관의 Average intensity도 증가함을 알 수 있다.

Fig. 8 (a)는 응축압력 변화에 따른 각 머플러 타입별 상부의 Intensity 변화를 나타낸 그래프이

다. 그림에서 보는 바와 같이 Muffler type 2, 1, 3 순으로 Intensity가 증가함을 알 수 있다. Fig. 8 (b)는 증발압력 변화에 따른 각 머플러 타입별 상부의 Intensity 변화를 비교한 그래프이다. Fig. 8 (a)와 마찬가지로 Muffler type 2, 1, 3 순으로 Intensity가 증가함을 알 수 있다.

Fig. 9는 응축압력과 증발압력 변화에 따른 각 시료의 토출관에서 Intensity 변화를 나타낸 그래프이다. 토출관의 경우 상부에서 나타난 경향과는 다소 차이를 보임을 알 수 있다. Muffler type 1 과 Muffler type 2는 토출관에서의 Intensity는 거의 유사한 값을 나타내며 큰 차이를 보이고 있지 않다. 하지만 Muffler type 3이 가장 큰 Intensity를 나타내는 경향만은 상부의 실험결과와 같이 나타남을 알 수 있다.

4. 결론

로터리 압축기 상부 및 머플러부에 가시화창을 설치하고 가시화 기법을 이용하여 오일 거동 분석을 수행한 후 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 유동 가시화 기법을 통한 로터리 압축기 상부, 머플러부 및 토출관의 오일 거동 분석을 통해 정량적인 오일 토유량 연구의 가능성을 제시하였다.
- (2) 응축기 압력 및 증발기 압력이 증가할수록 압축기 상부의 Intensity가 증가함을 알 수 있다.
- (3) 압축기 내부의 오일의 양이 증가 할수록 토유되는 오일의 양 또한 증가함을 증명하였다.
- (4) 3가지 시료 중 Muffler type 3이 모든 조건에서 가장 많은 양의 오일이 토출되는 현상을 실험을 통해 규명하였다.

후 기

본 연구는 삼성전자와 성균관대학교의 산학협력체인 미래가전연구센터(2004-0687-600)의 지원으로 이루어졌다.

참고문헌

1. So, S. K., Lee, S. K. and Pack, Y. S., 1998, "Rotary compressor for air-conditioning", J. Fluid Machinery, vol. 1, pp. 106-112

2. Lee, J. B. and Lee, S. K., 2003, "Correlation analysis between OCR and differential pressure of rotary compressor", Proc. of SAREK 2003, Summer, pp. 700-704
3. Kim, H. S. and Katsuta, M., 1995, "Influence of refrigerant oil on evaporator performance", Trans, JAR, vol. 12, No. 1, pp. 1-24
4. Parkash, N., Pandeya, 1986, "A simplified procedure for designing hermetic compressors", Purdue Comp. Conf., pp. 415-427
5. Asanumza, H., Itami, T., Ishikawa, H., 1984, "An experimental study of the shaft oil supply mechanism of a rotary compressor", Proc. the International Compressor Engineering Conference at purdue, pp. 383-390
6. Takebayashi, M., Iwata, H., Sakazume, A., 1988, "Discharge characteristics of an oil feeder pump using nozzle type fluidic diodes for a horizontal compressor depend on the driving speed", proc. the International Compressor Engineering Conference at purdue, pp. 19-26
7. Kim, K., Cho, K., 1988, "A study on lubricating system of hermetic rotary compressor". Proc. the International Compressor Engineering Conference at purdue, pp. 27-33
8. Costa, C., Ferreria, R., Prata, A., 1990, "Considerations about the leakage through the minimal clearance in a rolling piston compressor", Proc. the International Compressor Engineering Conference at purdue, pp. 853-862
9. Minami, K., Hattori, H., Hayano, M., 1998, "Lubrication analysis of rotary compressors for HFC refrigerants", Proc. the International Compressor Engineering Conference at purdue, pp. 301-306
10. Ko, H. S. and Kim, Y. J., 2003, "Tomographic reconstruction of two-phase flows", KSME Int. J., pp. 571-580