

바이패스방식을 이용한 용량가변 스크롤 압축기에 관한 연구

김철환* · 신동구* · 박홍희*

A study on the Modulated Scroll Compressor by Bypass Method

CheolHwan Kim*, DongKoo Shin*, HongHee Park*

Key Words : Modulated Compressor(가변용량 압축기), Scroll Compressor(스크롤 압축기), Bypass Method(바이패스 방식), SEER(에너지효율)

ABSTRACT

Hermetic Compressor circulates refrigerant with constant flow rate regardless of operation condition. so, at the operating condition requiring low cooling capacity, too much refrigerant flow deteriorates seasonal energy efficiency ratio(SEER). In this reason, modulated compressor is needed to improve SEER. Among many types of modulated compressor, non-inverter type modulated compressor is required for its low cost and easy to development. In the modulated scroll compressor by bypass method, EER steeply decreases for many loss like re-compression, changes of volume ratio, decrease of motor efficiency by torque variation. So. the range of modulation ratio for optimized SEER must be selected accompany with air conditioner set development.

1. 서론

공조기의 에너지 효율(SEER:seasonal energy efficiency ratio) 향상을 위해서는 다양한 운전조건에 맞게 용량을 가변할 수 있는 압축기의 개발이 필요하다. 일반적으로 용적형 압축기는 흡입압력과 온도에 따라 cycle에 순환되는 냉매 량이 달라질 뿐 사용자의 의도에 따라 냉매순환량을 조절할 수가 없다. Fig. 1과 같이 압축기의 설계기준 조건인 ARI조건(①)에 맞추어 압축기를 설계할 경우 운전영역 ②와 같이 응축기온도가 낮고 증발기 온도가 높은 상대적으로 적은 냉력이 필요한 운전영역에서는 압축기 흡입밀도가 높기 때문에 냉매순환량이 더 증가하게 된다. 이로 인한 불필요한 입력력으로 인해 에너지효율(SEER)이 저하된다. 따라서 전체적인 에너지효율(SEER)을 개선하기 위해서는 각 운전조건에 맞추어 용량을 가변할 수 있는 압축

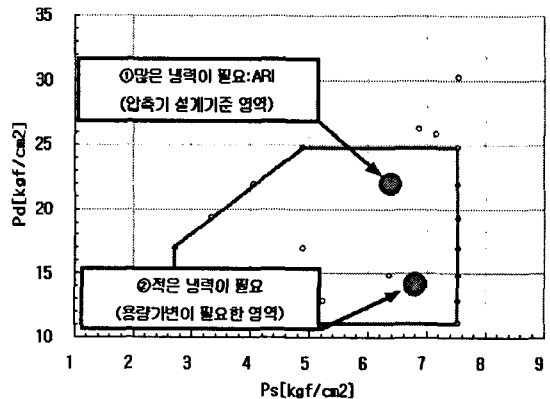


Fig. 1 R22 Operating Condition Envelope

기의 개발이 필요하다.

압축기의 용량가변 방식¹⁾은 크게 회전수를 제어하는 전기적인 방법, Bypass 및 누설을 이용한 기구적인 방법, 두 가지의 혼합형을 들 수 있다. 회전수 제어형 용량 가변 압축기인 인버터 압축기는 용량 가변의

* LG전자 DA연구소
 E-mail : cholhwan@lge.com

폭이 넓고, 성능이 우수하지만 가격이 비싸고 개발비용이 많이 드는 단점이 있다. 그리고 낮은 회전수에서 급유 문제를 해결하기 위해서 추가적인 기구가 필요하고, 높은 회전수에서는 마찰 부위의 신뢰성 확보가 필요하다.

게다가 대용량 인버터의 경우 EMI(electromagnetic interference)에 대한 별도의 개선이 필요하다. 기구적인 용량 가변 방식은 Bypass 방식, 흡입구 조절 및 폐쇄, 실린더 수 조절, Loading-Unloading 방식 등이 있다. 이러한 방식은 개발비용 및 가격을 낮출 수 있는 장점이 있지만 경우에 따라 과도한 소음과 별도의 외부회로를 필요로 한다. 일반적으로 기구적인 용량가변 방식은 인버터방식 대비 효율이 낮다고 알려져 있다. 하지만 모터효율 및 가변운전시 지시효율은 인버터방식이 높으나 인버터 구동을 위한 드라이브효율이 90~93%정도이므로 드라이브를 포함한 전체의 효율을 고려하였을 때 양방식간의 효율차이가 그리 크지 않다고 볼 수 있다. 기구적인 용량가변을 이용하여 100% 이상으로 용량을 증대할 수 있다면 용량가변 분야에서 고가의 인버터 방식을 대체하는 대안이 될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 Bypass방식을 이용한 용량가변 Scroll 압축기의 성능과 손실을 분석하여 본 방식을 이용한 용량가변 압축기를 공조기 세트에 적용하기 위한 Guide Line을 제시한다.

2. 실험 장치 및 방법

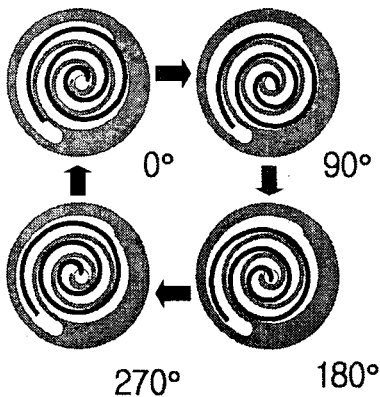


Fig. 2 Operation Procedure of Scroll Compressor

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 압축기는 LG전자 Scroll 압축기 (SQ028KCA, 정격냉력28,000Btu/h, 단상 220V)이다.

Scroll 압축기란 Fig. 2와 같이 '스크롤이라고 하는 두개의 서로 끼워진(interleaved) 나선(spiral)의 상호작용에 의하여 압축을 수행하는 기구'를 의미한다.²⁾ 이 압축기의 압축실은 인벌류트 곡선의 형상을 갖는 한 쌍의 스크롤로 구성되며, 이 두 스크롤 사이에 형성되는 접촉부에 의해 초승달 형상의 압축실이 만들어 지고, 상호작용에 의하여 스크롤의 바깥에서 중심부로 냉매가스가 압축된다. 다른 형식의 압축기와 비교해서, 여러 개의 압축실이 형성되어 압축과정이 연속적으로 이루어지므로 압축에 의한 회전체 토크의 변동이 왕복동식 압축기나 로터리 압축기에 비해 작고, 이로 인하여 저진동 및 저소음의 특징을 갖는다. 압축실 사이의 압력차가 작고, 구조적으로 다수의 압축실이 존재함으로 인해 냉매 가스의 유출 외에 유입도 발생하므로 냉매가스의 누설도 작다. 또 흡입된 기체가 토출구에 도달할 때 까지 2주기 이상의 압축을 수행하므로 스크롤의 압축운동은 완만하게 이루어진다.³⁾

2.2 가변운전 방식

Fig. 3은 바이패스 방식을 이용한 용량가변 방식에 대한 개념도이다. 압축실로 흡입된 냉매의 일부를 압축과정에 흡입측으로 바이패스(bypass)하여 사이클에

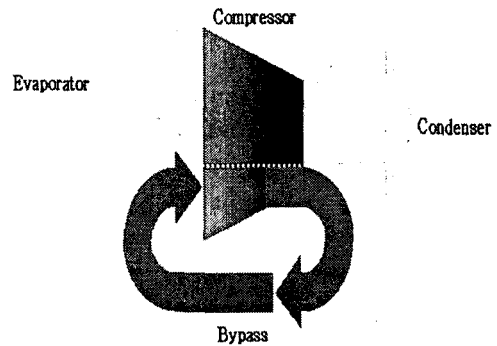


Fig. 3 Schematic diagram of bypass modulated compressor

순환되는 냉매 량을 조절한다. 스크롤 압축기의 용량 가변을 위하여 Fig. 4와 같이 고정스크롤(Fixed Scroll)

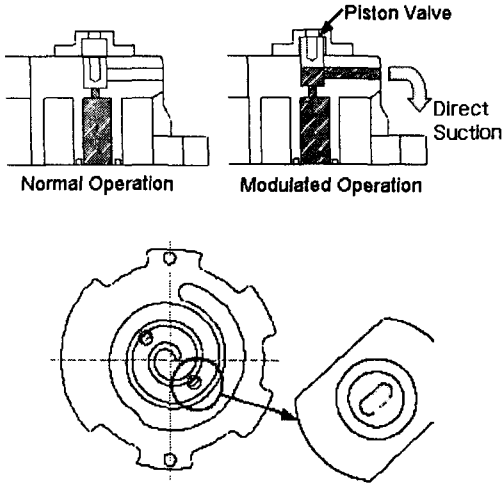


Fig. 4 Operation principle of Bypass method in the Modulated Scroll Compressor

상면에 Bypass Hole을 여러 개 설치하고 각각의 Hole에 흡입측(저압)과 연통되는 Piston 밸브를 설치한다. Piston Valve의 상부는 흡입측(저압)과 토출측(고압)에 Solenoid Valve를 통해 선택적으로 연결되도록 한다. 정상운전의 경우 Piston Valve의 상부를 토출측과 연통시켜 Piston Valve를 닫게 하고, 가변운전시는 Piston Valve 상부를 흡입측과 연통시켜 압축실내의 가스가 흡입측으로 바이패스 되도록 구성하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 용량가변에 따른 성능분석

가변용량의 효과를 높이기 위해서는 공조기 세트의 개발과 연계하여 냉력가변의 범위를 설정하여야 한다. 바이패스 방식의 용량가변 Scroll 압축기의 경우 Bypass Hole의 설치위치에 따라 냉력가변의 범위를 설정할 수 있다. Fig. 5는 Bypass Hole의 위치에 따른 냉력가변비율에 대한 실험결과 이다. 압축실이 처음 생성될 때 고정스크롤과 선회스크롤이 접촉하는 지점을 기준각도로(0°) 정의하고 압축이 진행됨에 따른 접촉점의 위치를 Bypass angle이라 정의하였다. Bypass로 인한 압축실내 냉매 누설로 인해 압축실의 압력이 흡입압력까지 저하된다는 가정 하에 예상한 냉력가변 비율과 실험결과가 잘 일치함을 알 수 있다.

Fig. 6은 냉력과 압축기 성능과의 관계를 나타낸다.

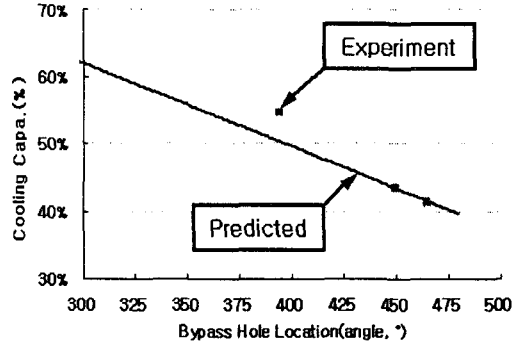


Fig. 5 Modulation ratio by Bypass Hole Location

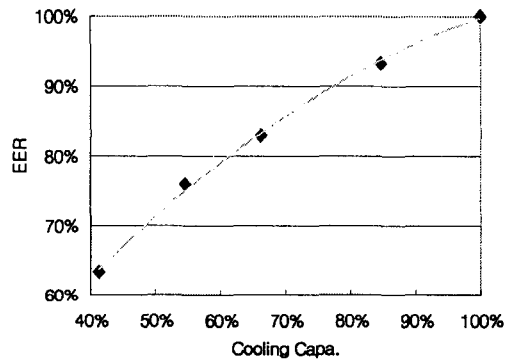


Fig. 6 EER by Cooling Capacity (Modulation Ratio)

Bypass에 따른 여러 손실로 인해 냉력이 줄어든 만큼 입력이 감소되지 않아서 냉력이 줄어들수록 압축기 성능(EER: energy efficiency ratio)은 저하된다.

Fig. 7은 용량가변이 필요한 영역(그림 1의 운전영역②)에서 용량가변에 따른 냉력과 입력 결과를 나타낸다. 냉력이 줄어든 만큼 입력이 줄어들지 않아 효율은 저하되었으나 불필요한 냉력을 줄였기 때문에 입력은 37% 감소함을 알 수 있다.

3.2 Bypass 방식 손실 분석

Bypass 방식에 따른 손실은 크게 재압축손실, 모터손실등을 들 수 있다. 재압축손실은 압축된 냉매를 Bypass 시킴으로 인한 무효일 발생에 따른 손실이고, 모터손실은 Bypass로 인한 토크의 감소로 모터효율이 저하됨에 따른 손실이다. 기타손실로는 압축된 냉매를 흡입측으로 Bypass 시킴으로 인한 흡입측의 Suction Gas Heating에 따른 손실과 Bypass로 인한 Scroll 압

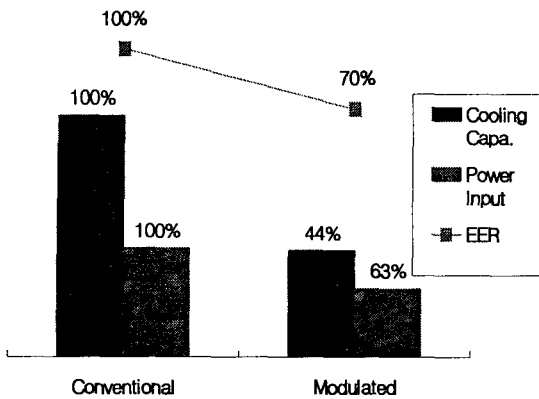


Fig. 7 Comparison between normal operation and modulated operation at the low cooling capacity requiring condition

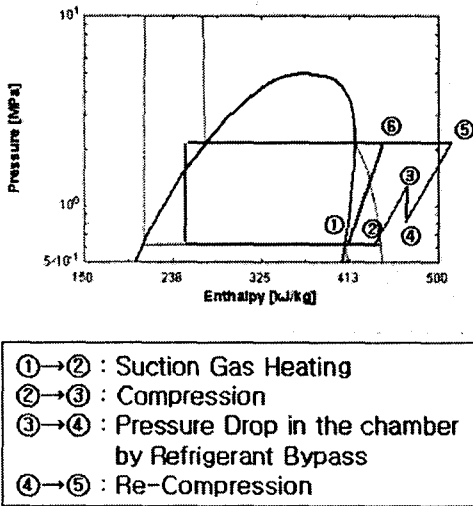


Fig. 8 P-H diagram in the compressor chamber by bypass modulation

축기의 고정체적비(Volume Ratio)가 변경됨에 따른 손실, Bypass 유로의 손실 등이 있다.

Fig. 8은 Bypass에 따른 압력-엔탈피 선도(PH 선도)를 나타낸다. ①→②구간은 Bypass된 냉매와 흡입축의 냉매가 섞임으로 인한 Suction Gas Heating, ②→③구간은 Bypass 전까지의 냉매압축, ③→④구간은 Bypass로 인한 압축실내 냉매의 팽창으로 인한 압력강하, ④→⑤구간은 Bypass 완료후 압축실의 남아 있는 냉매를 재압축하는 과정을 나타낸다.

Fig. 9는 냉력변동에 따른 상대효율을 나타낸다. 모터효율은 시뮬레이션 결과이고 열역학적 손실은 토크

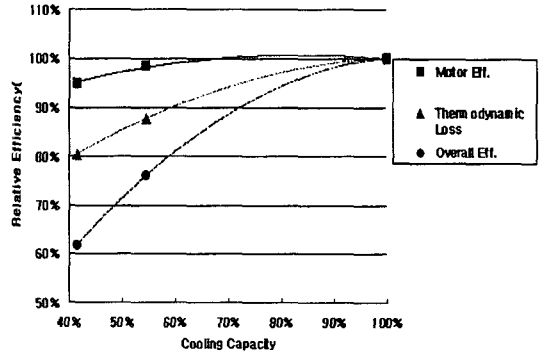


Fig. 9 Efficiency Analysis by Cooling Capacity Modulation

가스의 온도와 압력을 측정하여 정상운전상태의 엔탈피와 비교하였다. 냉력이 줄어들에 따라 토크가 줄어들어 모터효율이 저하되고 바이패스로 인한 열역학적 손실이 크게 증대됨을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다

1) 용적형 압축기는 운전조건에 상관없이 일정한 유량이 순환되므로 적은 냉력이 필요한 운전영역에서 과도하게 냉매가 순환되어 전체적인 성능을 저하시킨다. 이를 개선하기 위해 가변용량 방식의 압축기 개발이 필요하고, 여러 가변용량 방식 중에서 원가와 개발의 난이도를 고려하여 Non-Inverter 방식의 가변용량 압축기의 개발이 필요하다.

2) Bypass 방식의 압축기는 재압축에 따른 손실, 고정압축비(V_r) 변경에 따른 손실, 토크변동에 따른 모터효율저하 등의 원인으로 가변운전을 함에 따라 효율이 급격히 떨어지므로 최적의 SEER을 위한 용량가변 범위를 공조기 세트개발과 병행하여 선정하여야 한다.

참고문헌

- 1) Isao Hayase, 1999, "Trends in Technology for Component Compressor," 冷凍, 제74권 제863호, pp. 13-17
- 2) 구인회, 2000, "선회형 및 상호회전형 스크롤 압축기의 해석 및 설계에 관한 연구," 고려대학교 박사학위 논문
- 3) 김태중, 1995, "운할특성을 고려한 스크롤 압축기의 동적 거동에 관한 연구," 서울대학교 박사학위 논문