

용량가변 방식을 적용한 압축기의 성능연구

권영철[†] · 진의선 · 허삼행 · 김대훈* · 홍주태** · 문제명**
선문대학교 기계공학과, *산업기술시험원 에너지평가팀, **삼성전자
E-mail : yckweon1@sunmoon.ac.kr

Performance of Compressor with Variable Capacity

Young Chul Kwon[†], Euy Sun Jin, Sam Haeng Heo, Dae Hun Kim*,
Ju Tae Hong** and Je Myung Moon**

Department of Mechanical Engineering, Sunmoon University, Chungnam 336-840, Korea

*Energy Evaluation Team, Korea Testing Laboratory, Seoul 152-848, Korea

**Samsung Electronic Co., Ltd., Kyungki 442-742, Korea

요 약

본 연구에서는 용량가변방식을 적용한 PWM 압축기의 냉방운전 시 소비전력 변화 및 성능향상을 조사하기 위해서 기존 및 개선된 압축기의 능력, 소비전력, COP를 측정하여 비교하였다. 압축기의 효율 향상을 위해 무부하 상태에서 압축기 운전콘덴서의 변경, 복수구동부의 교차운전, 그리고 주 전류단에 코일을 적용하여 소비전력의 변화를 측정하였다. 용량가변형인 PWM 압축기는 압축기 능력이 증가함에 따라 소비전력과 COP가 선형적으로 증가하였다. 압축기의 운전 콘덴서를 바꾸어가면서 소비전력을 측정할 경우 소비전력의 최적점이 확인되었다. 한편, 복수 구동부의 적용으로 불필요한 과전압에 의한 소비전력을 감소할 수 있었다.

Abstract — In the present study, the variation of input power and efficiency improvement of a scroll compressor applying PWM method are experimentally investigated. The cooling capacity, input power and COP are measured under the cooling operation. The input power due to the change of the condenser and the coil addition in a main current part is measured to enhance the compressor efficiency. Measured results show that the input power and COP increase with increasing the cooling capacity. And the minimum input power of the compressor is observed. By the adoption of the double system, the consumption of compressor input power is reduced, compared with the existing system.

1. 서 론

산업플랜트의 여러 공정과정에는 증발 및 응축열전달 현상을 이용하고 있다. 이들 상변화 열전달현상을 이용하는 공조기는 요구 열출입을 제어하기위한 냉매사이클, 즉 냉동시스템으로 구성되어 있다. 냉매시스템은 열교환기(증발기, 응축기), 팽창장치, 압축기 등의 주요 요소부품 및 기기들로 이루어져 있다. 압축기의 국내 수요는 매우 많지만 대부분의 업체에서는 압축기의 핵심기술을 확보하지 못해 수입에 의존하고 있는 실정이다. 압축기는 냉동시스템의 핵심 부품으로써 산업용, 자동차용 및

가정용 공조기에 있어서 사용되는 전체 에너지의 약 80%를 차지하고 있으므로, 압축기의 최적화 및 효율 향상이 곧 냉동시스템 전체의 효율을 향상시키는 것이므로, 국내외에서도 압축기의 효율 향상 및 최적화에 대한 연구 및 관심이 집중되고 있다.

1905년 미국 Crux¹¹⁾의 특허에 의해 스크롤 압축기의 개념이 처음 소개 되었으나, 1983년 스크롤 압축기가 최초로 상용화된 이후 Morishita *et al.*¹²⁾에 의해 스크롤 압축기의 성능해석 및 열역학적 특성에 관한 연구가 수행되었다. Tojo *et al.*¹³⁾은 배압 챔버가 부착된 스크롤 압축기에 대해 수치해석을 수행하면서 압축유체를 일정한

비열을 지니는 이상기체로 고려한 직선 채널내의 Fanno 모델을 적용하였다. Li *et al.*¹⁴⁾은 오일 분사식 스크롤 압축기의 작동과정을 열역학적 및 동적으로 묘사하는 프로그램을 개발하였다.

한편 Lee¹⁵⁾는 자동차용 스크롤 압축기인 PMP 스크롤 형상을 가진 스크롤 압축기에 대해 성능해석을 수행하였으며, Cho 등¹⁶⁾은 인버터방식 스크롤 압축기의 해석적 모델을 개발하고 주파수 변화에 따라 ASHRAE-T 조건에서 가변속 성능특성 실험을 수행하여 모델을 타당성을 확인하였다. Kim 등¹⁷⁾은 용량가변 압축방식을 선정하기 위해 정속압축기와 극수 변환 및 2대의 압축기를 이용하여 실험하였다. 정속형 압축기에 비해 용량가변 압축기를 사용함으로써 COP(Coefficient of Performance)를 약 20~30% 정도 향상시킬 수 있는 것으로 보고하였다.

압축기의 효율 측면을 고려하면, 정속 압축기는 부하에 따라 압축기가 on/off 되면서 전력손실이 발생하는데 반해 용량가변형 압축기는 외부 부하에 따라 빠르게 대응하고, 초기구동 후에는 부하에 대응하여 운전하게 되므로 압축기의 능력제어가 가능한 용량가변형 압축기가 에너지 절감 측면에서 정속 압축기보다 유리하다. 이에 따라 용량가변 방식에 대한 연구가 최근 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 현재 기존의 on/off 방식의 정속 압축기를 대체하는 용량가변형 압축기로는 인버터와 PWM (Pulse Width Modulation) 압축기가 있다. 이들은 외부 부하에 민첩하게 대응하여 쾌적성을 향상시킬 수 있고 넓은 운전범위를 가지고 있다.

인버터방식 압축기에 대한 연구는 그 동안 많이 진행되었으나 용량가변형인 PWM 압축기에 대한 연구는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 냉방운전 시 PWM 스크롤 압축기의 소비전력 특성 및 효율향상을 위한 실험을 수행하였다. 이를 위해 기존 스크롤 압축기의 소비전력, 성능, COP를 콘덴서 및 압축기 구동방법을 개선한 압축기와 비교하였다. 압축기의 소비전력을 분석하기 위하여 PWM 압축기의 무부하 상태의 소비전력을 분석하였으며, 압축기의 효율 증가 방안으로 무부하 상태에서 압축기의 운전 콘덴서 변경, 구동부 운전방법 변경, 그리고 주 전류단에 코일추가를 통한 소비전력 변화를 측정하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2-1. 실험장치

Fig. 1은 압축기의 성능을 실험하기 위해 사용된 압축기 열량계의 개략도이다. 본 실험에 사용된 압축기 열량계는 JIS(Japanese industrial standard) B 8606과 JIS

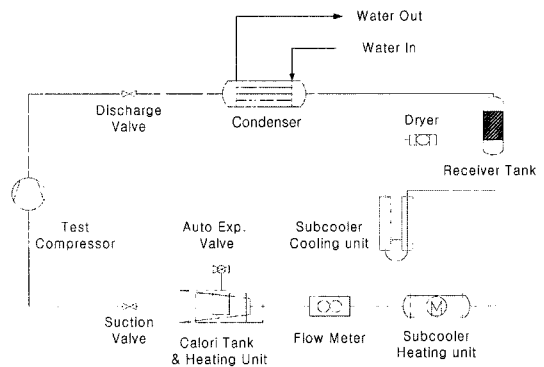


Fig. 1. Schematic diagram of compressor calorimeter.

B 8600에 준한 성능시험장치로서 경격전원, 온도, 압력 조건에서 압축기의 냉동능력을 2차 냉매 열량계법으로 측정하는 장치이다. 압축기 열량계는 증발기, 과냉각 장치, 응축기, 압축기 및 열량계의 주위온도를 일정하게 유지시켜주기 위한 항온조, 진공펌프, 회수 압축기, 파워미터, 열량계 본체 등으로 구성되어 있으며, 측정 열량의 범위는 3,000~17,000 W, 재현도는 ±1% 이내이다. 사용 냉매는 1차 냉매와 2차 냉매로 구분되며, 압축기에 사용되는 1차 냉매는 R-410a, R-407c R-22 등을 그리고 열량계에 사용되는 2차 냉매는 R-11 또는 R-123을 사용할 수 있도록 설계되었다. 본 실험연구에 사용된 PWM 압축기는 14,400 W의 능력을, 그리고 냉매는 R-22를 사용한다.

2-2. 실험방법

Table 1은 압축기 시험조건을 나타낸 것이다. 냉방운전 시 PWM 압축기의 성능평가를 위해 압축기 단품 시험조건인 ASHRAE-T 조건과 SET 조건(KS C 9306에 규정된 온도조건으로 시험에서 시험하였다. 측정 데이터는 열량계 내 설치된 압축기의 능력 및 전력의 변동폭이 설정범위(1%) 이내에서 만족될 때 수집하였다. ASHRAE-T 조건과 SET 조건의 실험에서 PWM 압축기의 운전특성을 서로 비교하기 위해 압축기 운전시간

Table 1. Compressor test conditions.

	ASHRAE-T Condition	SET Condition
Evaporating temp. (°C)	7.2	1.0
Evaporating pres. (N/cm ²)	52.57	41.19
Condensing temp. (°C)	54.4	46.0
Condensing pres. (N/cm ²)	204.47	166.71
Liquid temp. (°C)	46.1	40.0
Suction temp. (°C)	35.0	13.0

비율은 50, 70, 90, 100%의 4단계로 선정하였다. 본 연구에 사용된 압축기는 15 kW의 능력을 가지며, 3상 60 Hz(380 V), Blended White Oil을 사용하고 있다.

PWM 압축기는 PWM 밸브의 on/off 시간을 조절하여 용량을 제어하는 압축기이므로 PWM 압축기의 경우 부하(loading) 상태 대비 무부하(unloading) 상태의 압축기에 걸리는 부하는 매우 큰 차이가 나타남에도 불구하고 압축기에 인가되는 전압은 동일하므로 압축기가 무부하 운전상태인 경우는 필요 이상의 전력이 인가되게 된다. 따라서 본 연구에서 압축기 효율을 증대하기 위해 몇 가지 실험을 수행하여 소비전력 변화를 측정하였다. 능력, 소비전력, COP들은 압축기의 냉방최소운전 모드시의 측정값을 기준으로 하였다.

3. PWM 압축기 특성

Fig. 2는 용량가변형 PWM 압축기의 개략도이다. PWM 밸브에 전원이 인가되어 밸브가 열린 상태가 되

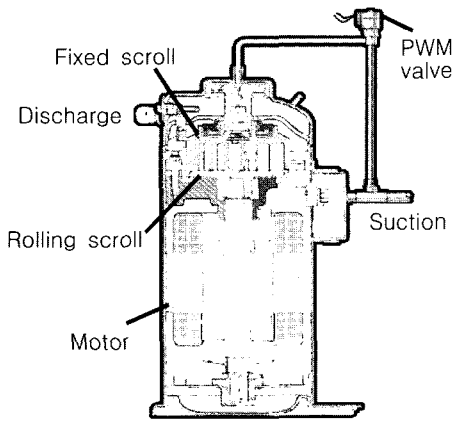


Fig. 2. Schematic diagram of PWM compressor.

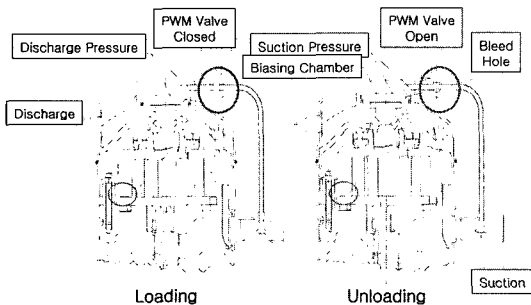


Fig. 3. Concept on loading/unloading of PWM compressor.

면 압축기의 토출 배압이 해제됨으로써 고정 스크롤이 축상으로 상승하는 무부하 상태가 되고, 반대로 PWM 밸브에 전원이 차단되어 밸브가 닫힌 상태가 되면 상부 스크롤에 배압이 부여됨으로써 고정 스크롤이 축상으로 하강하는 부하상태가 된다(Fig. 3). 이와 같은 부하/무부하의 주기 조절로 냉매 토출량을 제어하여 압축기의 용량을 변화시킨다. PWM 스크롤 압축기는 PWM 밸브의 on/off 제어방식에 따른 전력변환이 필요없어 변환에 따른 전력을 줄일 수 있으며 구조가 간단하다. 그리고 인버터방식과는 달리 인버터 회로부가 없으며, PWM 제어로 용량을 10%~100% 범위 내에서 선행가변이 가능하다. 또한 부하가 적은 최소 운전영역에서도 냉매유속이 충분히 커서 오일회수가 원활하다⁸⁾.

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 압축기 능력변화에 따른 소비전력과 COP

Fig. 4는 ASHRAE-T 조건으로 PWM 압축기를 운전하였을 때의 소비전력과 COP 변화를 나타낸다. 운전부

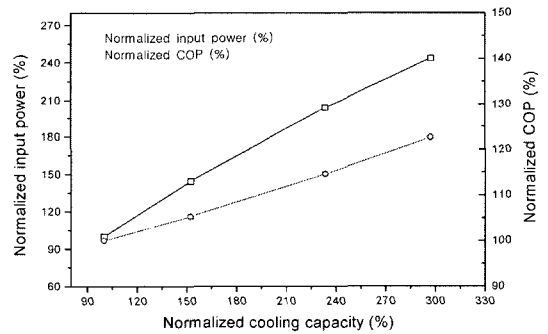


Fig. 4. Variation of input power and COP on capacities (ASHRAE-T).

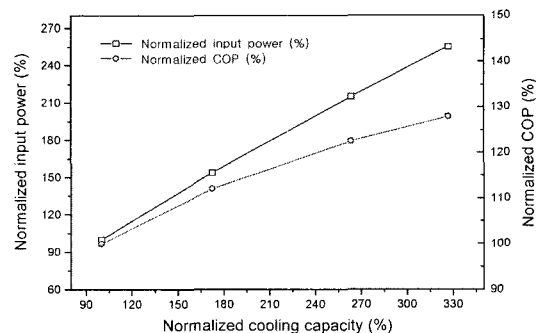


Fig. 5. Variation of input power and COP on capacities (SET).

하비율이 50% 일 때 압축기의 소비전력은 약 2,000 W 정도이었다. 압축기가 최소능력에서 최대능력으로 증가할 때 냉방능력은 약 200% 정도 증가하였고 소비전력은 약 140% 정도 증가하였다. 압축기의 냉방능력 증가에 따라 선형적으로 소비전력이 증가하는 것을 알 수 있으며, COP도 최소능력에서 최대능력으로 증가할 때 약 25% 정도 선형적으로 증가하였다.

Fig. 5는 SET 조건으로 운전하였을 때의 소비전력과 COP를 나타낸다. 운전부하비율이 50%일 때 압축기의 소비전력은 약 1,500 W 정도 이었다. 압축기가 최소능력에서 최대능력으로 증가할 때 냉방능력은 약 230% 정도 증가하였고 소비전력은 약 150% 정도로 선형적인 증가율을 보였다. 또한 최소능력에서 최대능력으로 증가할 때 COP는 약 30% 정도로 증가하였다. 이는 PWM 압축기의 경우에 인버터방식을 적용한 압축기에서 관찰되는 주파수 변화에 따른 모터효율 변화와 전력변환에 따른 전력손실 등이 발생되지 않기 때문으로, 그 결과 능력변화에 따른 COP 감소 현상이 나타나지 않는다.

4.2. 운전 콘덴서 변경에 따른 소비전력 변화

전술된 것처럼, PWM 압축기는 무부하 운전상태인 경우에도 필요 이상의 전력을 사용하므로 무부하 상태의 압축기에 사용되는 압축기 소비전력을 줄이면 압축기 효율을 높일 수가 있다. 따라서 본 연구에서는 압축기의 운전 콘덴서를 변경하는 방법으로 소비전력을 측정하였다. Fig. 6은 압축기에 장착된 운전 콘덴서의 용량을 변경하면서 측정된 소비전력의 변화를 나타내고 있다. 실험은 동일 전압 및 회전수에서 수행하였다. 약 40부근을 저점으로 이 값보다 작은 용량의 운전 콘덴서를 장착할 경우, 역률은 감소하였지만 소비전류가 상대적으로 높은 증가율을 보여 압축기의 소비전력은 증가하는 경

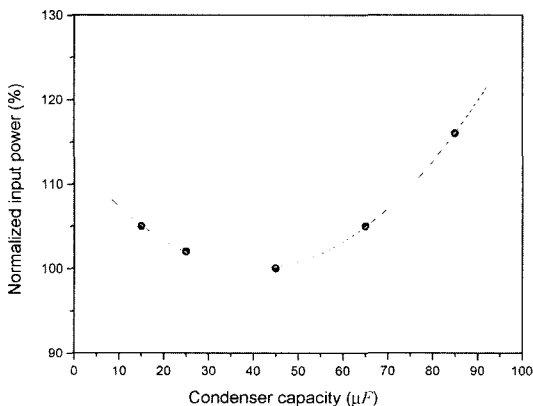


Fig. 6. Variation of input power on operation condenser capacity (Unloading).

향을 나타냈으며, 이 값보다 큰 용량의 운전 콘덴서를 장착할 경우에는 압축기의 소비전류는 감소하였으나 역률이 상대적으로 높은 증가율을 보여 압축기의 소비전력은 크게 증가하였다. 따라서 운전 콘덴서를 변경하는 경우에 최적범위가 존재함을 확인하였다.

4.3. 구동부 교차운전에 따른 소비전력 변화

압축기의 무부하 상태인 비압축 상태에서의 구동 소비전력을 감소하고자 압축기의 구동부를 복수로 구성하여 소비전력 변화추이를 측정하였다. 압축기의 PWM 밸브가 개방될 때 냉매를 압축하지 않고 공회전하는 상태임에도 불구하고 부하상태와 동일한 전압인가로 인하여 일정 전력이 압축기에서 필요 이상 사용되고 있다. 따라서 압축기가 무부하 상태에서 압축기 모터에 인가되는 전원을 감소시켜 무부하 상태의 압축기에 사용되는 구동전력을 줄이고자 압축기를 구동하는 구동부를 별도로 두어 교번동작으로 제어하였다.

이 구동부는 PWM 밸브의 상태에 따라 구동부가 번갈아 가면서 동작하게 된다. 무부하 시 압축기에 인가되는 전압을 줄임으로써 압축기가 최소 운전만 실행하게 되어 구동 소비전력은 감소하게 되고 효율은 높일 수 있다. Fig. 7은 복수 구동부(압축기 1, 2)와 기존 구동부(압축기 1)로 운전했을 때의 구동 소비전력을 비교한 그림이다. Fig. 8은 개선된 압축기의 구동부 방식에 따라 주 전류단에 코일을 추가하였을 경우에 소비전력의 변화를 나타낸다. 실험은 동일 전압 및 회전수에서 수행되었으며, 주 전류단의 코일을 변경하면서 실험을 수행하였다. 주 전류단에 코일을 추가하게 되면 전류는 감소하고 역률은 증가한다. 그러나 역률 증가율에 비해 전류 감소율이 커서 전체적으로 소비전력은 감소하였다. 본

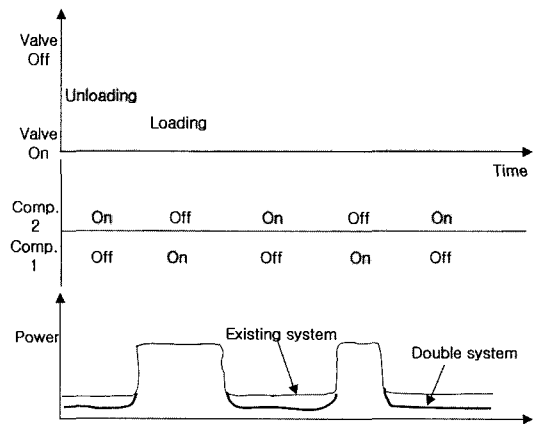


Fig. 7. Comparison of power for double system and existing system.

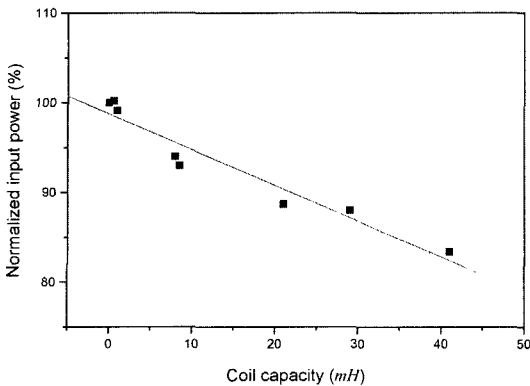


Fig. 8. Input power along coil capacity of main current part (unloading case).

실험범위 내에서는 주 전류단에 약 40 mH 코일을 첨가하는 경우에 다른 코일의 결과보다 소비전력이 가장 적게 나타났다. 즉, 코일을 사용하지 않을 때보다 약 17% 정도의 소비전력 감소효과를 얻을 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 PWM 압축기의 냉방운전 시 소비전력 특성 및 효율향상을 위해 기존 및 개선된 시스템의 소비전력, 능력, 그리고 COP을 측정하였다. 또한, 압축기의 효율 증가 방안으로 운전 콘덴서 변경, 구동부 교차 운전, 그리고 주 전류단에 코일추가를 통한 소비전력 변화를 실험한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) PWM 압축기는 압축기 능력이 증가함에 따라 소비전력과 COP가 선형적으로 증가하였다.
- 2) 압축기의 운전 콘덴서를 바꾸어가면서 소비전력을 측정한 경우 소비전력이 최소인 콘덴서 구간이 관찰되었으며 나머지 구간에서는 소비전력이 크게 증가하였다.
- 3) 복수 구동부의 적용으로 불필요한 과전압에 의한 소비전력을 감소할 수 있었으며, 무부하 운전 시 주 전류단에 코일을 추가함으로써의 최대 17% 정도의 소비전력 감소효과를 얻었다.

4) 본 연구를 통해 확보된 스크롤 압축기의 소비전력 특성 및 효율향상에 대한 연구자료를 바탕으로, 향후 시스템 에어컨의 성능 및 에너지효율 향상에 대한 실험을 진행할 계획에 있다.

참고문헌

1. L. Creux, Rotary Engine, U.S. Patent No. 80118 (1905).
2. Morishita, E., Sugihara, M., Inaba, T. and Nakamura, T.: "Scroll Compressor Analysis Model" Proc. of International Compressor Engineering Conference, 487 (1984).
3. Tojo, K., Ikegawa, M., Maeda, N., Machida, S. and Shibayashi, M., "Computer Modeling of Scroll Compressor with Self Adjusting Back Pressure Mechanism" Proc. of International Compressor Engineering Conference, 872 (1986).
4. Li, H., Wang, D., Wang, H. and Chen, P., "Research of Oil-Injected Scroll Compressor Working Process" Proc. of International Compressor Engineering Conference, 118 (1990).
5. Lee, G.H., "Performance Analysis and Simulation of Automobile Air Conditioning System Using Scroll Compressor" Ph. D. Dissertation, Seoul National Univ., Seoul, Korea (1997).
6. Cho, H.H., Kim, Y.C. and Park, H.H., "Performance Characteristics of an Inverter Driven Scroll Compressor" Proceedings of the SAREK summer annual conference, 1139 (1999).
7. Kim, C.M., Hwang, Y.J., Ryu, Y.H. and Cho, K.S., "The Experimental Study on the Comparison in Performance of the System which used Modulated Compressors" Proceedings of the SAREK summer annual conference, 1114 (2001).
8. Seo, H.J., Kim, J.M., Lee, J.K., Oh, S.K. and Moon, J.M., "Characteristics of Oil Flow Pattern of DVM System", Proceedings of the SAREK summer annual conference, 1137 (2001).