

자동차 에어컨용 가변압축기의 제어 특성에 관한 실험적 고찰

김민준* · 이건호** · 박익서*

An experimental study on the control properties of variable compressors for automotive air-conditioning system

Kim Min Jun*, Lee Geon Ho**, Park Ik Seo*

Key Words : Swash plate compressor(사판식압축기), Variable displacement(가변용량), Pressure control valve(압력제어밸브), Automotive air conditioning system(자동차 에어컨시스템)

ABSTRACT

Recently, it is required that the automotive air conditioning system must keep the cabin temperature comfortable in spite of engine speed, and improve the fuel consumption during all the seasons. To satisfy these requirements, the variable displacement swash plate type compressor with control pressure valve is developed. In this study, the effects of two type valves, suction pressure control valve and differential pressure control valve, on the performance of swash plate type compressor has been investigated experimentally.

1. 서론

자동차 에어컨용 압축기의 동력원은 엔진에 의해 결정됨으로 압축기 회전수를 임의로 조절하는 것이 불가능하다. 따라서 대부분의 자동차 에어컨은 차실내 온도가 설정온도 이하로 떨어지는 것을 방지하기 위한 방법으로 압축기 클러치를 ON-OFF 하는 방식으로 제어하고 있다. 이러한 제어방법은 자동차가 운전 중에 압축기 클러치를 ON-OFF함에 따라 차량의 토크부하 변동이 심하며, 클러치 탈착에 의한 소음, 진동을 유발시킨다.

따라서 ON-OFF 제어방식의 단점을 보완함은 물론 차실내 냉방부하 변동에 따른 압축기 소비동력을 최적화 시키기 위하여 압축기 용량을 제어할 수 있는 외부 가변형 사판식압축기의 개발이 활발히 진행되고 있다. 가변 용량형 사판식 압축기는 1997년 이후 여러 자동차용 압축기 제조업체에서 생산을 시작하였으며, 최근에는 그 수요가 급증하고 있다. 이러한 가변압축기에 관한 연구로는 Miyagawa et al.¹(1998년)은 새로운 가변메카니즘을 이용한 가변사판식 압축기를 소개하면서 와블형 가변압축기보다 소음 및 진동이 적으며, 특히 고속운전시 내구성어 뛰어내고 압축기 회전수 변화에 대한 용량제어특성이 우수하다고 발표하였으며, kishibuchi et al.²(1999년)는 클러치가 없는 외부가변형 압축기를 개발하면서 압력제어밸브, 폴리, 축실링 및

* 두원공과대학 기술연구소

** 두원공과대학 냉동공조과

E-mail : kimj76@empal.com

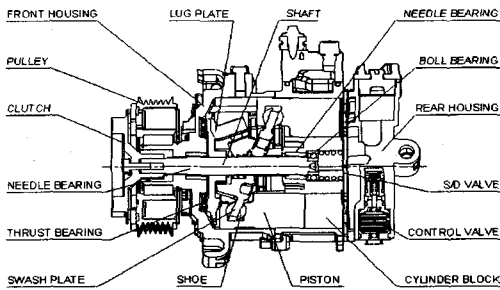


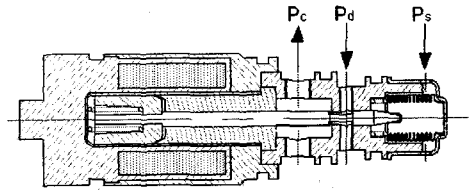
Fig. 1 Variable displacement swash plate type compressor

사판의 코팅에 대하여 자세히 설명하고 있다. 또한, Nadamoto et al.³(1999년)은 외부 가변압축기와 고정식 압축기를 실차에 적용하여 실차테스트를 행함으로서 외부가변형 압축기가 설치된 경우, 2000 cc급 차량에서는 5% 이상의 연료소비를 절감시킬 수 있다고 발표하였다. 본 연구에서는 압력제어밸브에 따른 외부가변형 압축기의 성능특성을 알아보기 위하여 압축기 회전수 및 제어밸브에 인가되는 전류를 변화시키면서 실험을 행하였다.

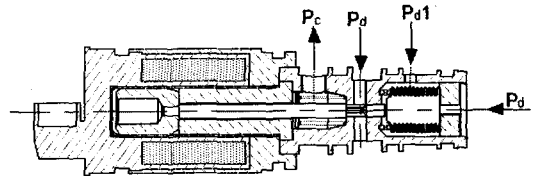
2. 가변압축기

2.1. 가변압축기의 구성

Fig. 1은 가변 사판식 압축기의 구성도를 보여주고 있다. 그림에서 보여주고 있듯이 가변 사판식 압축기는 개방형 압축기이므로 동력을 전달하는 동력전달부와 사판의 경사각을 제어하는 가변메카니즘부 그리고 냉매가스를 압축하는 압축부로 이루어져 있다. 동력전달부는 풀리, 클러치, 축, 러그플레이트, 사판, 슈, 피스톤으로 구성되어 있으며, 엔진의 회전력을 이용하여 피스톤을 구동시키는 역할을 하고 있다. 가변메카니즘부는 축, 러그플레이트, 사판, 피스톤 및 압력제어밸브로 구성되어 있으며, 차량의 냉방부하 변동에 의해서 제어밸브가 작동되어 지며, 제어밸브의 작동으로 사판의 압력이 변화하여 사판의 경사각을 결정하고 그로 인해서 피스톤의 행정거리를 변화시켜서 압축기의 용량을 제어하고 있다. 압축부는 냉매가스를 압축하는 부분으로서 피스톤, 실린더, 흡입밸브, 토출밸브, 흡입



(a) suction pressure control valve



(b) differential pressure control valve

Fig. 2 External pressure control valves

머플러, 토출머플러 및 사판실 등으로 구성되어 있다.

2.2 가변압축기의 제어방법

앞에서 설명하였듯이 가변 사판식 압축기는 사판실의 압력을 변화시켜 사판의 경사각을 제어한다. 따라서 이러한 사판실의 압력을 제어하는 방식으로는 내부 제어방식과 외부제어방식이 있다. 내부제어 방식은 냉동사이클내의 냉매상태(증발압력 및 응축압력)에 의해 제어됨으로 기계적인 압력제어밸브가 사용된다. 그러나 외부제어방식은 압축기 외부 즉 차량의 실내상태(차 실내온도, 태양열 부하, 대기온도 등)와 에어컨 운전조건(에어컨 동작모드, 설정온도 등) 및 차량 주행상태(엔진속도, 가속정도 등)들을 컨트롤러에서 인지하여 제어밸브에 설치된 솔레노이드에 적정 전류를 입력하면 그로인해서 압축기가 제어되는 방식으로 전자식 압력제어밸브가 사용된다.

Fig. 2는 외부제어밸브를 보여주고 있으며, 그림에서 보여지는 바와 같이 흡입압력에 의해 제어되는 흡입압 제어방식과 토출압력의 차이에 의해 제어되는 토출차압 제어방식이 있다. 흡입압 제어밸브는 전류에 의해 발생하는 솔레노이드에 의한 힘, 벨로우즈 내의 가스 압력과 흡입압력의 차이에 의한 힘들과의 상호관계에

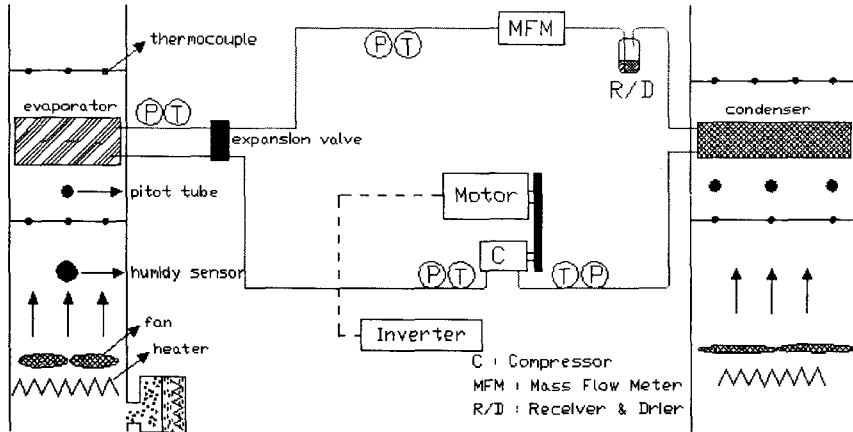


Fig. 3 Experimental apparatus for performance test of compressor

의해 밸브가 작동되며, 밸브가 열리면 토출압력 가스가 사판실로 들어간다. 일반적으로 솔레노이드 힘이 일정한 경우, 흡입압력이 설정압력보다 낮아지면 밸브가 열리게 된다. 반면에 토출차압 제어밸브는 토출실내 토출압력과 일정한 크기의 오리피스를 지난 토출가스의 압력과의 차이를 감지하여 차압이 큰 경우 밸브가 열리면서 토출가스가 사판실로 들어간다.

3. 실험장치

차량용 냉방시스템의 성능시험을 수행하기 위해서는 냉방시스템의 운전조건을 파악하고, 이들 운전조건을 유지할 수 있는 실험장치가 필요하며, 이러한 실험장치를 이용하여 일정한 운전조건 하에서 냉방시스템을 가동시킨 후, 냉방시스템이 안정화되면 냉방시스템 성능을 분석할 수 있는 데이터를 측정하는 것이다. 차량용 냉방시스템의 운전변수로는 증발기 입구에서의 공기상태와 응축기 입구에서의 공기상태 그리고 압축기 회전수를 들 수 있다. 증발기 입구 공기상태의 변수로는 공기 풍량, 온도, 습도를 들 수 있으며, 응축기 입구 공기 상태로는 공기온도와 풍량을 들 수 있다. 본 연구에서는 증발기 입구공기 상태를 조절하기 위하여 증발기 환경조절장치를 설계 및 제작하였고, 응축기 입구공기 상태를 조절하기 위하여 응축기 환경조절장치

를 설계 및 제작하였다. Fig. 3은 차량용 냉방시스템의 성능실험장치에 대한 전체 구성도를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 증발기는 증발기 환경조절장치 내에 설치하였고, 응축기는 응축기 환경조절장치 내에 설치하였으며, 중앙에 압축기를 설치하였고 팽창밸브는 증발기 입구에 리시버드라이어는 응축기와 팽창밸브 사이에 설치하였고, 각각 구성품은 관경이 서로 다른 크기의 알루미늄 관으로 연결하였다. 이는 각각의 영역에서 냉매 밀도가 다르므로 배관내의 압력강하를 작게 하기 위함이다. 차량용 압축기는 동력이 엔진이고 엔진과 압축기는 벨트로 연결되어 있으나 본 연구에서는 엔진을 모터로 대체하여 실험을 수행하였고, 회전수를 변화시키기 위하여 인버터를 연결하여 주파수 설정에 의해서 회전수를 변화시켰다. 또한 각 배관 내에서의 냉매 압력과 온도를 알기 위하여 압력 센서와 온도센서를 설치하였으며, 냉매유량을 측정하기 위하여 리시버드라이어와 팽창밸브 입구사이에 질량유량계를 설치하였다. 이러한 계측기들은 데이터 레코더에 연결하여 자동으로 기록하였으며, 압축기 소요 동력은 인버터에서 측정된 값으로 하되, 이때 모터효율은 제조사에서 제시한 85%로 하였고, 벨트효율은 무시하였다.

Table 1 Operating conditions

parameters		condition
evaporator inlet air	temperature	30°C
	velocity	2.6 m/s
	humidity	50 %
condenser inlet air	temperature	35°C
	velocity	5.0 m/s
compressor speed	700~3000 rpm	
PWM current	0~0.7 A	

4. 시험결과 및 고찰

외부제어방식의 가변압축기는 제어밸브에 있는 솔레노이드 밸브에 의해서 압축기가 제어되며, 그 솔레노이드 밸브는 PWM(Pulse Width Modulation)제어에 의해서 전류의 크기로 제어된다. 본 연구에서는 DC 12V, 400Hz, 0~0.7A로 제어되는 PWM 제어기를 제작하였으며, 압축기를 평가하기 위한 운전조건은 Table 1에서 보여주고 있다. 우선 증발기와 응축기 환경조절장치에서의 입구공기의 상태를 운전조건에 맞도록 조절한 다음 압축기를 구동시킨다. 압축기가 구동되었을 때 일정한 압축기 회전수에서 PWM제어기의 전류를 0A에서부터 0.7A까지 0.1A씩 올리면서 실험하였고 전류변화에 대한 시험을 끝마치면, 압축기 회전수를 700, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000rpm으로 증가시키면서 실험을 행하였다.

4.1.1 흡입압 제어밸브에 의한 실험결과

Fig. 4는 흡입압 제어밸브의 전류변화 및 압축기회전수 변화에 따른 압축기 냉매순환량 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보여지는 바와 같이 솔레노이드 입력 전류가 0.4 A 이하에서는 압축기 회전수가 증가하여도 냉매순환량의 변화가 거의 없으며, 0.4A이상에서는 압축기 회전수 증가에 따라 처음에는 냉매순환량이 증가하다가 어느 순간부터는 냉매순환량의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 이때 압축기 회전수 증가에 따라 냉매순환량이 증가하는 영역에서는 고정식 압축기에서 회전수 증가에 의한 냉매순환량 증가와 동일한 경향을 보이고 있음을 알 수 있었다. Fig. 5는 압축기 회전수 변화에 따른 흡입압력 및 토출압력의 변화를 보여주고 있다. 동일한 회전수에서 흡입압력이 감소할 수 록 토

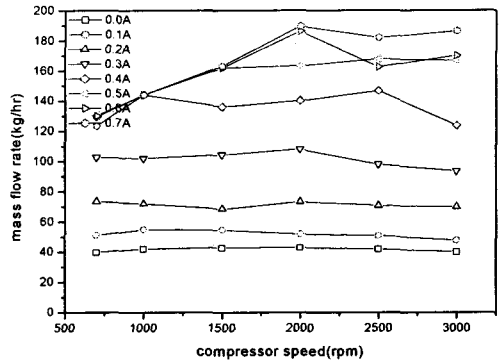
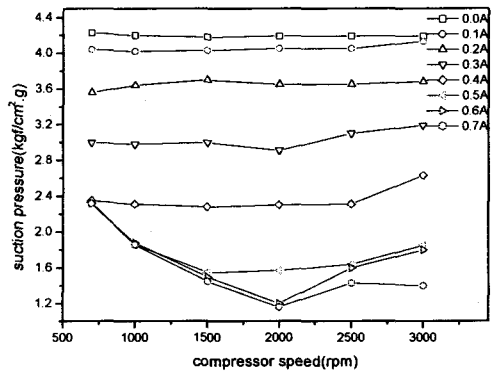
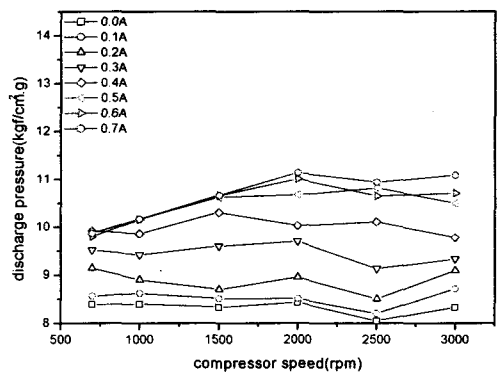


Fig. 4 Variation of mass flow rates with compressor speed and current of pressure control valve.



(a) suction pressure



(b) discharge pressure

Fig. 5 Variation of pressure with compressor speed and current of pressure control valve.

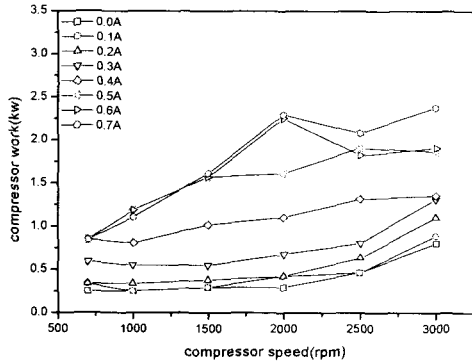


Fig.6 Variation of compressor work with compressor speed and current of pressure control valve

출압력은 증가하는 경향을 보이고 있으며, 입력전류가 0.4A 이상의 경우는 압축기 회전수가 증가하면 처음에는 흡입압력이 감소하다가 일정압력이하에서는 더 이상 감소하지 아니하는 경향을 보이고 있다.

따라서 본 연구결과 제어밸브의 입력 전류값을 조절함으로써 회전수 변화에 따른 흡입압력 및 냉매순환량의 변화가 거의 없도록 제어되며, 특히 압축기 회전수 2000rpm 이상에서는 제어밸브에 최대치의 전류값을 인가하여도 흡입압력은 약 1.4 kgf/cm²gage이하로는 떨어지지 아니함을 알았다.

Fig. 6은 압축기 회전수 변화에 따른 압축기 소요동력을 보여주고 있으며, 그림에서 보여지는 바와 같이 전류값이 적은 영역에서는 회전수가 증가할 수록 압축기 소요동력이 다소 증가하는 경향을 보이고 있지만 전류값이 큰 경우 흡입압력이 일정한(압축기 회전수 2000 rpm) 영역에서는 압축기 회전수 증가에 대한 압축기 소요동력은 거의 변화가 없었다.

4.1.2 토출차압 제어밸브에 의한 실험결과

Fig. 7은 토출차압 제어밸브의 전류변화 및 압축기 회전수 변화에 따른 압축기 냉매순환량 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보여지는 바와 같이 슬레노이드 입력전류가 0.4 A 이하에서는 압축기 회전수가 증가하여도 냉매순환량의 변화가 거의 없으며, 0.4A 이상에서는 압축기 회전수 증가에 따라 처음에는 냉매순환량이 증가하다가 어느 순간부터는 냉매순환량의 변화가 거의

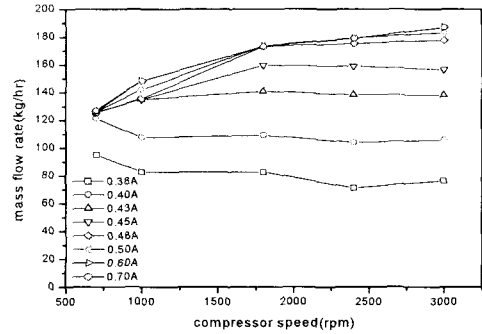
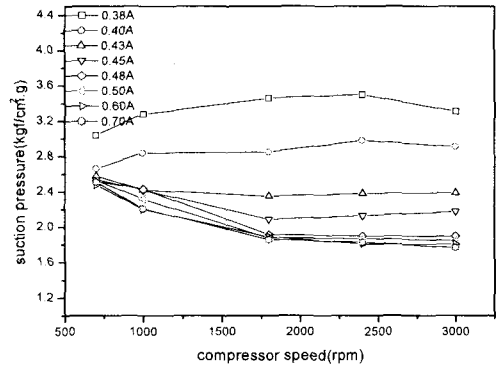
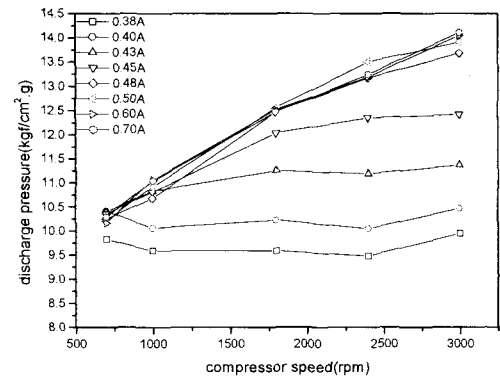


Fig. 7 Variation of mass flow rates with compressor speed and current of pressure control valve.



(a) suction pressure



(b) discharge pressure

Fig. 8 Variation of pressure with compressor speed and current of pressure control valve.

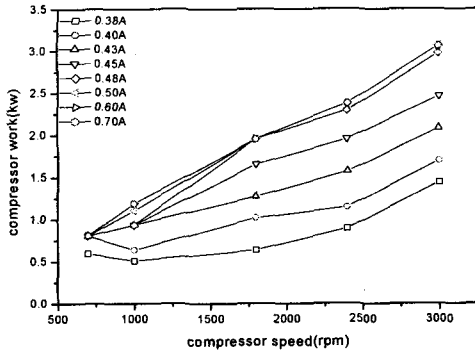


Fig.9 Variation of compressor work with compressor speed and current of pressure control valve

없음을 알 수 있다. 이러한 경향은 흡입압 제어밸브에 의한 결과와 거의 유사하며, 다만 전류값 0.38A 이하에서는 냉매순환량 제어가 되지 아니하였고 0.48A 이상에서는 솔레노이드 입력 전류값의 영향을 받지 아니하였다. 즉, 제한된 전류값(0.38A에서 0.48A) 내에서만 압축기 용량이 조절됨을 알 수 있었다.

Fig. 8은 회전수 변화에 따른 흡입압력과 토출압력 변화를 보여주고 있으며, 그림에서 보여지는 바와 같이 흡입압 제어밸브에 의한 결과와 거의 비슷하며, 특히 압축기 회전수 1800 rpm 이상인 경우, 0.48 A 이상의 전류값 영역에서는 전류값이 변화하여도 흡입압력은 1.9kgf/cm²gage이하로 떨어지지 아니함을 알 수 있다. 또한, 최대전류값인 경우에 압축기 회전수가 증가될수록 토출압력이 계속적으로 증가하는 경향을 보이고 있으며, 흡입압 제어밸브인 경우에 비하여 높은 토출압력을 나타내고 있다.

Fig. 9는 압축기 소요동력 변화를 보여주고 있으며, 압축기 회전수가 증가될수록 압축기 소요동력은 계속적으로 증가하는 경향을 보이는데 이는 토출압력이 증가되면서 압력비가 증가하기 때문으로 사료된다.

5. 결론

흡입압 제어밸브 및 토출차압 제어밸브를 가지는 외부제어식 가변사판압축기를 각각 압축기 회전수 변

화에 따라 실험을 행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 제어밸브에 인가되는 전류값을 조절함으로써 압축기 흡입압력이 제어됨을 알았고, 흡입압 제어밸브는 넓은 전류값 영역에서 조절이 가능하지만 토출차압 제어밸브는 제한된 전류값 영역내에서만 용량 제어가 가능하였다.
- 2) 본 연구에서 행한 운전조건하에서는 압축기 회전수를 증가하여도 냉매순환량은 180 kg/h를 넘지 못하였으며, 이는 압축기 회전수 2000 rpm부근에서 가지는 냉매순환량이었다.
- 3) 압축기 회전수의 증가에 대한 압축기 소요동력의 증가폭은 토출차압 제어밸브인 경우가 흡입압 제어밸브인 경우보다 크게 나타났으며, 이는 토출차압 제어밸브인 경우 압축기 회전수가 증가될수록 토출압력이 증가되어 압력비가 상대적으로 커지지 때문으로 사료된다.

참고문헌

- (1) Miyagawa, K. and Kayukawa, H., 1998, "Development of the Swash Plate Type Continuously Variable Displacement Compressor", society of Automotive engineers, paper 980290
- (2) Kishibuchi, A., Nosaka, M. and Fukunuma, T., 1999, "Development of Continuous Running, Externally Controlled Variable Displacement Compressor" society of Automotive engineers, paper 1999-01-0876
- (3) Nadamoto, H. and Kubota, A., 1999, "Power Saving with the Use of Variable Displacement Compressors" society of Automotive engineers, paper 1999-01-0875