

## 자동차 공조장치의 가변압축기 ECV 유량 분석

정준영 · 조행묵<sup>†</sup>

공주대학교 기계자동차공학부

(2013년 10월 4일 접수, 2013년 12월 10일 수정, 2013년 12월 10일 채택)

### Analysis of flow rate of variable displacement compressor ECV in automobile air conditioning control system

Yeong Jun Jeong · Haeng Muk Cho<sup>†</sup>

Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University (KNU)

(Received 4 October 2013, Revised 10 December 2013, Accepted 10 December 2013)

#### 요 약

최근들어 자동차에어컨 콤프레셔의 전기마그네트식 콘트롤밸브는 내부형 스위시 플레이트형을 사용하고 있다. 이 시스템은 외부로부터 공급되는 전류량(신호)에 의하여 작동되며 동시에 스위시판 작동에 의한 압력은 냉매가 흐르는 비율에 의하여 결정된다. 본 논문에서는 압축기의 크랭크케이스 압력이 전기마그네트 콘트롤 밸브 전기 흐름량에 따른 유량의 값을 측정하여 엔진의 효율을 향상시키고자 한다.

주요어 : 전기마그네트 콘트롤밸브, 압축기, 에어컨

Abstract - At present, using of electromagnetic control valve (ECV) in external variable displacement swash plate type compressor is a common issue. Solenoid operated ECV controls vehicle air conditioning system through a pulse width modulation (PWM) input signal that supplied from an external source. Different port pressure controls the swash plate movement inside the compressor at certain angles that finally determines the refrigerant flow rate to the vehicle compartment for passengers comfort. In this paper, crankcase pressure flow (Pc flow) is calculated with some ECV samples with corresponding to amount of variable supply of current ranges from 0.20Amp to 0.95Amp.

**Key words** : ECV, Compressor, Air-Conditioner

#### 1. 서 론

자동차의 에어컨은 자동차의 일부이지만 사용자의 편의를 위해 이제는 매우 중요한 자동차의 부품 중 하나이다. 고효율 자동차 에어컨은 연비 등에 많은 영향을 미치므로 세계의 자동차 메이커들은 연구개발에 많은 노력을 하고 있다. 자동차 에어컨의 시스템

의 구성요소 중에는 외부가변컴프레서에 연결된 전자 제어 밸브가 있으며, 이것을 이용한 전자제어밸브 사용은 자동차엔진의 높은 효율성을 요구하기 때문에 매우 큰 엔진의 힘을 필요로 한다. 현재 자동차산업은 낮은 에너지 소비 및 고효율 특성의 가변용량압축기 보다는 고정용량의 압축기를 사용하고 있다. 에어컨 시스템이 작동하면 냉매 흐름은 일반적인 작동 조건에 맞게 효율적인 압축기의 변화에 의해 가변 용량 압축기를 지속적으로 작동하게 한다. 자동차 에어컨 시스템에 있어서 전자 제어 밸브는 에어컨 제어 시스템에 사용되는 중요한 요소이다. 이 시스템은 크랭크

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.

Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University (KNU) 275, Budae-dong, Cheonan-si, Chungcheongnam-do 330-717, South Korea.

Tel : 041-521-9287 E-mail : hmcho@kongju.ac.kr

의 흡입 압력과 전자 제어 밸브의 흡입압력의 차이에 따라 사판의 각도를 조절한다. 압축기의 용량은 크랭크 실의 흡입 압력에 의해 변경되는 사판의 경사 각도에 따라 달라진다. 전자 제어 밸브는 일반적으로 두 가지 유형이 있으며 공기 압축기에 사용되며, 기계 제어 밸브 (MCV)와 전자 제어 밸브 (ECV)가 있다. 압축기는 정해진 흡입 압력밸브에 의해서 제어된다. ECU는 외부로부터 신호를 받아 솔레노이드의 작동을 통해 전자 제어 밸브를 제어한다. Fig. 1은 ECV가 장착되어있는 압축기의 모습이다.

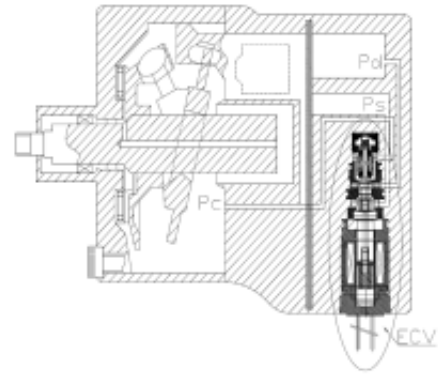


Fig. 1. Automobile air compressor with ECV

기본적으로 ECV는 입력 전원에 의해 사판의 각도를 조절한다. 하지만 압축기의 회전, 대기의 상태, 콘덴서 공기 및 차량 등 다양한 요인에 따른 변위 요소가 발생 할 수 있다. ECV의 특성은 별도의 클러치 작동 없이 자동차 에어컨 압축기에 사용된다.

ECV에는 흡입포트(PS), 크랭크 포트(PC)와 배출 포트(Pd)가 있다. 특히 ECV는 이러한 포트를 이용하여 밸브 속 흐름을 제어한다. Fig. 2와 Fig. 3은 포트의 작동에 의해 결정되는 공기의 유동을 나타낸 것이다. 전원이 인가된 상태에서의 압력은 Pc가 Ps보다 크기 때문에 Pc에서 Ps의 방향으로 유로가 형성된다. Pc에 연결되어있는 피스톤의 움직임에 의하여 방출되는 Pd의 최대압력이 형성되며 이로 인해 발생한 Pc 압력의 감소는 컴프레서 내의 사판의 각도를 감소시킨다. ECV밸브의 또 다른 특성 중 하나는 PWM제어를 통해 작동된다는 것이다. 전원이 차단된 조건에서는 Fig. 3과 같이 Pd에서 Pc로의 유로가 형성되며 이때 Pc보다 Pd의 압력이 커지고 Pc에서 Ps로 향하는 유로가 폐쇄된다. Pd로부터 Pc로의 유로의 형성은 전원이 차단된 상태의 PWM제어와 공급되는 전류에 의해 결정되고, 이 상태에서는 피스톤내의 압력에 의해 Pd에서 Pc로 방출되는 최대 유량을 나타낸다. 그 결과 Pd의 압력이 감소한다. 그러므로 Pd의 압력감소는 컴프레서 내의 사판의 각도를 최대에 이르게 한다.

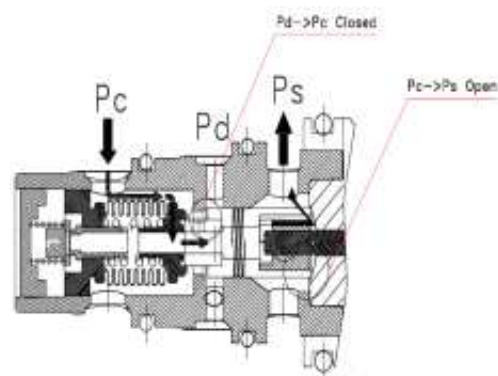


Fig. 2. Switched on condition

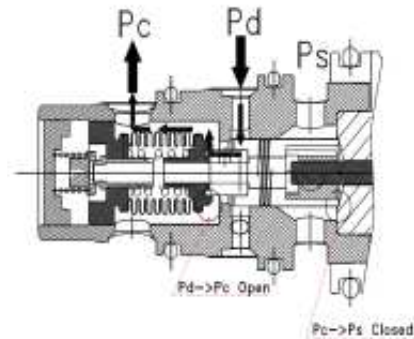


Fig. 3. Switched off condition

## 2. ECV 설계와 조립

ECV(전자 제어 밸브)내의 구조를 제도 프로그램을 이용하여 Fig.4와 나타내었다. ECV는 마그네틱 코일, 플런저, 플런저 스프링, 플런저 핀, 플런저 하우징, 코일 덮개 및 밸브 바디 등으로 구성되어 있으며, 매우 정밀한 치수정밀도를 요하는 부품들로 이루어져

있다. ECV의 각 구성품 설계에서 각 부품에 허용되는 공차는 0.02~0.05mm이고, Guide의 외경과 Valve Body의 내경에 허용되는 공차는 최대 0.002mm 이다. ECV의 설계에서 엄격한 공차가 적용이 되는 이유는 ECV가 사용되는 환경이 공압 조건이기 때문이며, 공기의 특성상 매우 작은 틈새에서도 공기의 유출이 발생할 수 있고, 약간의 직경차이로도 Valve내 유량이 크게 달라지기 때문이다. 따라서 위와 같은 작은 틈새로의 LEAK나, 직경변화에 의한 유량변화

를 최소화하기 위해 엄격한 공차를 적용한다.

ECV의 조립은 위에서 설명된 공차 이내로 가공된 부품을 이용하여 조립해야 하며, 이렇게 조립된 플런저, 가이드 및 벨로우즈 조립체가 사용조건에서 전자석인 솔레노이드 힘(Solenoid Force)에 의하여 상대적인 힘의 평형을 이룬다. 여기서 각 조립체의 상대적인 움직임을 가지며, 이 힘의 평형을 이룬다. Stroke의 Setting은 각 조립체 별로 사용되는 스프링의 탄성력이나 솔레노이드 힘(Solenoid Force)에 의해 움직이는 가동철심의 변위별 필요한 힘의 합이 0을 이룬다. 예를 들어 Bellows의 Stroke Setting값이 나타내는 힘이 0.35mm에서 0.6Kgf이라면, 상대부품인 Plunger Ass'y의 Stroke Setting 값은 솔레노이드 외력(Solenoid Force)이 상대적으로 크게 작용하는 0.9mm로 셋팅해야 한다. 그리고 초기 유량을 나타내는 Guide Stroke는 기준유량인 분당 68~75리터를 만족하기 위해 0.30mm 정도의 셋팅 값을 취해야 한다.

### 3. 실험분석

Fig. 5 은 유량 테스트를 위한 실험장치의 회로도이다. ECV FLOW TEST의 실험조건은 공급 전류가 0.2~0.95Amp로 변할 때의 Pc에 흐르는 유량을 l/min 단위로 측정하는 것이다.

본 논문에서는 각 조립체의 Stroke별 힘의 합력을 알아보기 위하여 Bellows Stroke와 Plunger Stroke에 대한 실험을 진행하였다. Table.1은 각각의 실험에서의 종속변수, 통제변수 및 독립변수를 나타낸 것이다. Stroke별 힘의 합력은 두 가지 실험으로 진행하였으며, 첫 번째 실험은 Bellows Stroke를 고정된 상태에서 Plunger Stroke의 셋팅 값을 바꾸어 가는 것이며, 두 번째 실험은 Plunger Stroke가 고정된 상태에서 Bellows Stroke 셋팅 값을 바꾸는 것이다.

첫 번째 실험은 통제변수를 Bellows Stroke와 전압으로 지정하였으며, 독립변수인 Plunger Stroke와 Duty값을 바꿀 때 종속변수인 ECV의 유량이 어떻게 변화하는 가를 그래프를 통해 검증하였다. Plunger Stroke는 Solenoid의 가동철심에 연결되어 Solenoid의 힘을 직접 Bellows에 전달하는 역할을 한다. 따라서 첫 번째 실험에서는 Plunger Stroke에 따른 가동철심에 작용하는 솔레노이드 외력임을 알 수 있다. 두 번째 실험은 통제변수를 Plunger Stroke로 지정하

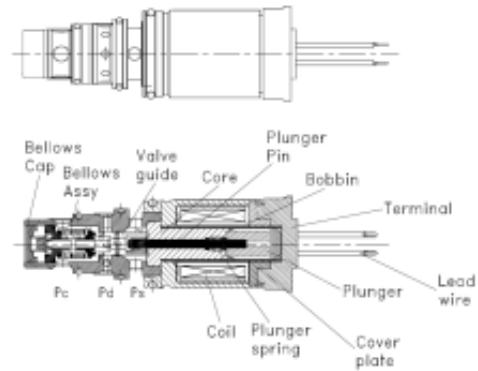


Fig. 4 ECV with its internal features

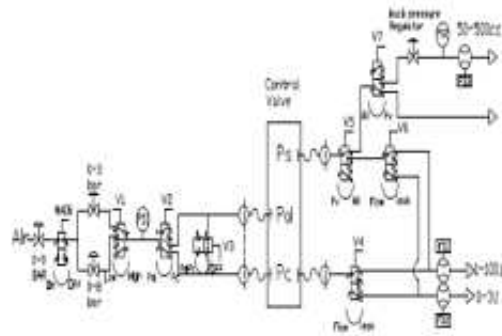


Fig. 5. Air board tester diagram for flow test

Table 1. Experiment Value

| 구분              | 내용              | 측정값  |
|-----------------|-----------------|--|
| 실험1             | Bellows Stroke  | 0.35mm(0.550Kgf)   |
|                 | Plunger Stroke1 | 1.05mm   |
|                 | Plunger Stroke2 | 0.90mm   |
|                 | Plunger Stroke3 | 0.75mm   |
| 실험2             | Plunger Stroke  | 0.75mm   |
|                 | Bellows Stroke1 | 0.20mm(0.300Kgf)   |
|                 | Bellows Stroke2 | 0.35mm(0.550Kgf)   |
| 조건              | Bellows Stroke2 | 0.50mm(0.840Kgf)   |
|                 | - 최대압력:         | 0.69bar  |
|                 | - 유로설정:         | $V_1 \rightarrow \text{high}, V_2 \rightarrow \text{Pd},$<br>$V_3 \rightarrow \text{off}, V_4 \rightarrow \text{Pc flow}$<br>$V_5 \rightarrow \text{off}, V_6 \rightarrow \text{flow}$<br>$V_7 \rightarrow \text{all}, V_8 \rightarrow \text{all}$ |
|                 | - 직류 전압:        | 23.7V  |
|                 | - Duty 설정 전압:   | 13.5V  |
|                 | - 진동수:          | 400Hz  |
| - Guide Stroke: | 0.33mm          |  |

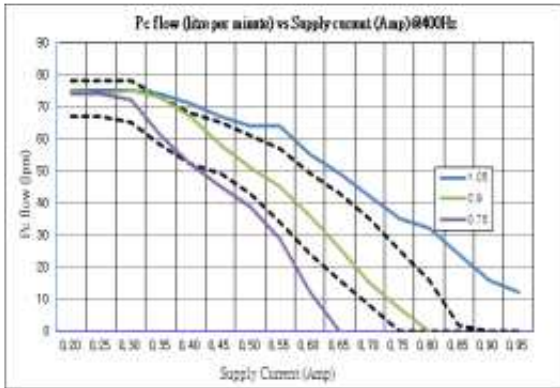


Fig. 6. Graphical result of ECV test samples(Change the Bellows Stroke)

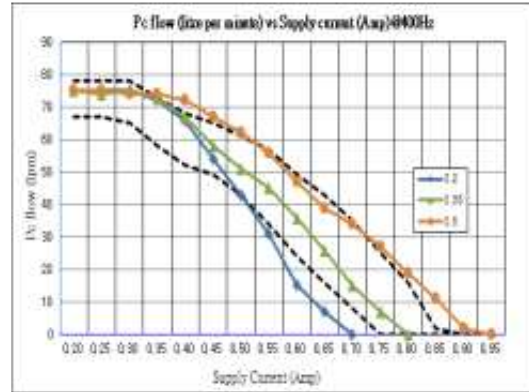


Fig. 7 Graphical result of ECV test samples(Change the Bellows Stroke)

있을 때, 독립변수인 Bellows Stroke와 Duty에 따른 종속변수 ECV 유량이 어떻게 변화하는가를 유량그래프로 검증한 것으로서 Bellows Stroke에 따라 달라지는 것을 알 수 있다. 위 두 가지 실험에서 결과를 정확하게 얻기 위해 발열에 의한 열손실을 최소화하고자 ECV Solenoid의 온도가 상온 25°C로 충분히 냉각된 상태에서 진행하였으며, 각 그래프는 실험을 3번씩 진행하여 평균값으로 나타내었다. 실험 1에서는 하나의 Valve를 사용하여 Plunger Stroke Setting 값을 수정하여 실험을 진행하였고, 실험 2에서는 Valve의 Plunger Stroke를 0.90mm으로 고정하고 Bellows Stroke를 달리하여 실험을 진행하였다. 본 실험에서 Guide Stroke는 초기 유량을 나타내는 Stroke로 사용되었고, 각 실험마다 0.33mm로 고정하여 실험 하였다. 솔레노이드 외력(Solenoid Force)은 ECV에 가하는 전류값에 비례하여 증가하는 것으로 가정하였다.

#### 4. 실험결과

Fig.6은 주어진 조건값을 이용하여 획득한 실험 결과이며, 실험1의 결과를 그래프로 나타낸 것으로 Bellows Stroke가 고정된 상태에서 Plunger Stroke만을 조절할 때 나타난 결과이다. Plunger Stroke가 1.05mm에서 0.75mm로 짧게 셋팅됨에 따라 Bellows의 Tension(0.550Kgf)에 대한 전류별 유량이 그래프와 같이 조기에 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig.7은 Plunger Stroke를 고정하고, Bellows Stroke를 조절할 때의 유량그래프로, Bellows Stroke

가 0.20mm (0.350Kgf)에서 0.50mm (0.840Kgf)로 변화함에 따라 전류별 유량이 그래프와 같이 늦게 감소하는 것을 확인하였다.

#### 5. 결 론

차량용 공조장치인 ECV는 기존의 기계식 공조장치와는 다르게 크랭크축과 상시 연결된 외부가변 압축기를 조절하는 Actuator 역할을 한다. ECV는 구성된 여러 부품들의 힘의 평형을 이용하여 공조장치를 작동하기 때문에 ECV를 개발하기 위해서는 내부 부품간의 역학관계 분석할 필요가 있으므로 본 논문에서 기술한 ECV내 각 Stroke에 대한 ECV의 Plunger Stroke와 Bellows Stroke에 대한 힘의 평형에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) Plunger Stroke는 Solenoid에 전류가 흐를 때 가동철심에 작용하게 되는 Solenoid Force로 나타낼 수 있다. 실험결과에서 Bellows Tension이 0.55Kgf로 고정되었을 때, Plunger Stroke가 1.05mm로 셋팅 된 경우 최종 유량이 12l/min로 유지되었으나, 0.9mm로 셋팅 된 경우에는 0.80Amp에서 유량이 0l/min로 되었고 0.75mm로 셋팅 된 경우에는 0.65Amp에서 유량이 0l/min으로 나타났다. 따라서 Plunger Stroke가 길게 셋팅 된 경우에는 ECV내부의 가동철심에 전달되는 솔레노이드 힘(Solenoid Force)이 작게 작용하는 것을 알 수 있었으며, 반대의 경우에는 크게 나타났다.
- (2) Bellows Stroke는 가동철심으로 전달된

Solenoid Force를 지지하는 역할을 하며, 스프링의 특성상 압축 혹은 인장 상태에서 기준점으로 부터의 변위별로 그 Tension이 변화하게 되므로 Bellows Stroke가 0.25mm에서 0.50mm로 변화하면 기준점에서 Bellows가 가동철심을 미치는 힘이 0.350Kgf에서 840Kgf로 변화하고, 이는 Solenoid Force에 대하여 힘의 평형 점을 바꾸는 역할을 한다. 따라서 Bellows Stroke가 길어질수록 Solenoid Force에 대한 저항이 커지게 되며, 실험 결과에서 알 수 있듯이 Bellows Stroke가 0.20mm일 때, 유량이 0ℓ/min 되는 전류 값은 0.70Apm이고, 0.35mm일 때, 유량이 0ℓ/min가 되는 전류 값은 0.80Apm, 0.50mm일 때, 유량이 0ℓ/min이 되는 전류 값은 0.95Apm라는 것을 알 수 있었다.

## 사 사

본 연구는 교육부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임. (No. 2013-0402)

## 참고문헌

1. Y. J. Lee, G. H. Lee and B. E. Lim, "Noise Evaluation of a Control Valve in a Variable Compressor", International Conference on Sustainable Automotive Technologies, RMIT University, Melbourne, Australia, (2012), p 337-441
2. H. J. Sung, H. C. Kim and H. W. Lee, "Flow Force Analysis of a Variable Force Solenoid Valve for Automatic Transmissions", Journal of Fluids Engineering, Vol. 132, (2010), p. 1-7
3. James A. Davis, Mike Stewart, "Predicting Globe Control Valve Performance &#8211; Part I: CFD Modeling", Journal of Fluids Engineering, Vol. 124, (2002), p. 774-777
4. Y. J. Lee, G. H. Lee and B. E. Lim, "Design for Improving the Performance of a Control Valve in a Variable Compressor", International Conference on Sustainable Automotive Technologies, RMIT University, Melbourne, Australia, (2012), p 343-348
5. G. S. Lee, H. J. Sung and H. C. Kim, "Multiphysics Analysis of a Linear Control Solenoid Valve", Journal of Fluid Engineering, Vol. 135, (2013), p. 1-10
6. G. H. Lee and T. J. Lee, "A Study on the Variable Displacement Mechanism of Swash Plate Type Compressor for Automotive Air Conditioning System", International Compressor Engineering Conference at Purdue, (2004), p. 1-6
7. 김민준, 박익서, 이건호, "사관실 압력변화에 따른 가변용량형 사관식 압축기의 성능에 관한 실험적 고찰", 대한설비공학회, 2004, p 765-770
8. 이건호, "자동차 에어컨용 압축기의 신기술", 냉동부문 학술강연회, 2003, p 158-165