

공압서보밸브 KS규격 정립에 관한 연구

김동수*(한국기계연구원), 이원희(한국기계연구원), 최병오(한국기계연구원)

A Study of Korean (Industrial) Standards for Pneumatic Servo Valve

D. S. Kim(KIMM), W. H. Lee(KIMM), B. O. Choi(KIMM)

ABSTRACT

Pneumatic servo valve which is widely applied in industrial world is advanced technology compounded with electric, electronic and machine. And It is consist of Linear Force Motor, Spool Commutation Mechanism and Microprocessor. In this study, we accomplished test method of Linear Force motor test, Static characteristic test, Dynamic characteristic test for KS(Koran industrial standard) of Pneumatic servo valve. we accomplished study about the main item of Static characteristic test which is related to unload flow characteristic test. And Dynamic characteristic test was step input test and frequency response test. Specially about frequency response test, There was a difficulty resulting from the time delay problem caused by the basic compressibility of air. In order to solve the problem in this study, we proposed two methods. First, displacement of the servo valve spool was directly measured by using a laser sensor. Second, method of calculating control flow by measuring pressure and temperature of chamber.

Key Words : Pneumatic(공기압), Servo valve(서보밸브), KS(한국공업규격), Static characteristic test(정적특성시험), Dynamic characteristic test(동적특성시험)

1. 서론

표준화 대상인 공기압 서보밸브는 전기, 전자, 기계복합 첨단 기술로 구성되어 있으며, 핵심 기술은 Solenoid Coil 과 Permanent Magnet의 조합인 Linear Force Motor 설계 및 자장 해석기술, 영구자석 가공 및 열처리기술, Spool Commutation Mechanism의 Flow Force해석 및 Spool과 Sleeve의 Hydrostatic Bearing기술 그리고 Sensor 기술, Microprocessor 기술 등 공기압 첨단산업기술이라 할 수 있다(1).

공기압 서보 밸브의 활용분야로는 정밀위치 및 속도제어, 힘 및 토크 제어가 필요한 고속, 중하중의 Loading & Unloading작업, Clamp, Elevator등의 자동차 부품 가공기계, 소재 삽입장치, Welding Machine, Fatigue Tester, Bearing 이송라인, 화장품 이송라인, 목공기계 이송시스템, 신소재 Cutting Machine등 전 산업분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 하지만 앞선 기술력을 바탕으로 선진국들이 전세계 시장을 독식하고 있으며 우리나라의 경우 수요

의 대부분을 수입에 의존할 수 밖에 없는 상황이다. 현재 국내 몇 개 업체에서 개발을 하고 있으나 시험 평가 기준이 없어 외국에 외화를 주고 시험을 수행해야 하는 실정이다.

세계적인 공기압서보밸브의 주요 개발 업체로는 미국의Textron, Dyval, Atchley Control, Numatic, 독일의 FESTO, Rexroth, Kolvenbach, 일본의 SMC, TSS등이며 이들 회사들이 전세계시장의 수요를 90% 이상 점유하고 있으며, 현재 생산되고 있는 공기압 서보밸브의 종류는 Nozzle-Flapper, Jet-Pipe, Linear & Rotary Direct Drive Type등이 있고, 이들 모두 제조업체로 별로 시험검사를 수행하여 판매하고 있다.

국내의 경우 공기압 서보밸브에 대한 상품화는 전무하며, 현재 100% 수입하여 응용 분야별로 시스템을 구성하여 제어하고 있는 수준이다. 그러나 핵심기술인 Spool설계, Force Motor설계, Micro Processor 및 Position Sensor 개발 기술에 대해서 어느 정도의 기술을 보유하고 있을 뿐 아니라, 국내 중소기업에서 연구소 및 학교의 도움을 받아 개발 중

에 있으므로 조만간 출시될 것으로 사료되며 이에 대한 표준화가 시급한 실정이다.

따라서 공기압 서보밸브의 KS '격 제정은 국산 개발 제품의 품질 향상 및 신뢰성 입증 및 개발 활성화를 가져올 것으로 기대된다.

2. 시험조건 및 환경

2.1 적용범위

공기압 서보 밸브의 시험 조건은 아래의 Table 1 과 같이 설정하였으며, 공기온도 및 입력신호 등은 일반 On/Off 공기압 밸브 규격을 참고하였다. 그리고 최고 사용압력 및 주위온도는 FESTO의 서보밸브 설명서를 참고하였다⁽²⁾⁽⁵⁾.

항 목	실 정 값
최고 사용 압력	10 kgf/cm ²
주위온도	5 ~ 50 °C
공기온도	20±2 °C
입력신호	공시 밸브의 입력신호
공급압력	공시 밸브의 정격압력
시험압력 최소치	0.1 kgf/cm ²
입력신호 최소치	정격입력 신호의 0.1%
필 터	KS B 6348(공기압 필터) 규정에 따른다.

Table 1 Test conditions of pneumatic servo valve

3. Linear Force Motor 시험

3.1 절연저항 및 내전압 시험

절연저항 및 내전압 시험은 공시 밸브에 공기압을 가할 필요는 없으며 다음에 따른다. 먼저, 공시 밸브 전기 입력단자 모두를 하나로 하고 그것과 공시 밸브 몸체 사이에 예상되는 최대 코일 전압의 5 배 또는 500V 중 큰 쪽의 직류전압을 시험 전압으로 하여 60초간 가하고 그 사이에 전압인가 상태에서 흐르고 있는 전류를 측정한다. 그리고 시험 전압을 측정 전류로 나누어 절연저항을 구한다. 절연 저항은 10MΩ 이상인 것이 바람직하다. 또한, 절연저항의 측정은 시판 절연저항 측정기(DC 500V 용)를 사용하여도 좋다⁽³⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾.

3.2 코일 인덕턴스 시험

코일 인덕턴스 시험은 2.1의 시험조건에 따라 공시 밸브를 작동시켜서 측정한다. 계측 회로는 Fig. 1 과 같으며, 시험순서는 다음과 같다⁽³⁾⁽⁶⁾.

(1) 정밀 비유도형 저항과 코일 단자를 직렬로 접

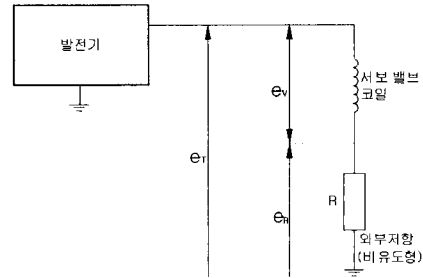


Fig. 1 The circuit of Servo valve coil inductance test

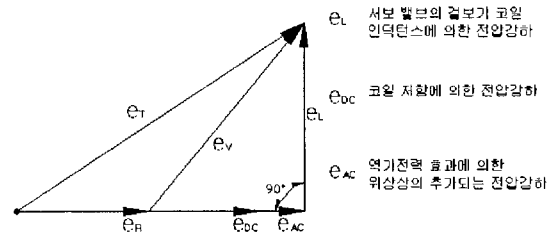


Fig. 2 The diagram of voltage vector

속하고 공시 밸브 코일을 작동시키기 위하여 발전기를 접속한다.

(2) 시험 장치의 전원 주파수와 다른 주파수로서 0Hz 또는 60Hz를 시험 주파수로 하고 공시 밸브에 속하고 공시 밸브 코일을 작동시키기 위하여 발전기를 접속한다.

(2) 시험 장치의 전원 주파수와 다른 주파수로서 0Hz 또는 60Hz를 시험 주파수로 하고 공시 밸브에 5 대한 입력신호의 최대 진폭을 공시 밸브 정격전류로 설정한다.

(3) 교류전압 (e_T , e_R , e_V)을 측정한다.

(4) Fig. 2와 같은 전압벡터 상관도를 그린다.

(5) 겹보기 코일 인덕턴스를 식(1)에 의해 구한다.

$$L = \frac{R}{2\pi f} \times \frac{e_L}{e_R} \quad (1)$$

여기에서 L : 겹보기 코일 인덕턴스 (H)

R : 정밀 비유도형 저항의 저항치 (Ω)

f : 시험 주파수 (Hz)

e_T , e_R , e_V : Fig. 2에 따른다.

4. 정적 특성 시험

4.1 무부하 유량 특성 시험

무부하 유량 특성 시험회로 및 계측회로는 Fig. 3 에 따르며, 시험 순서는 아래와 같다⁽³⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾.

(1) 배기 포트밸브 및 양방향 제어 포트밸브를 개방한다.

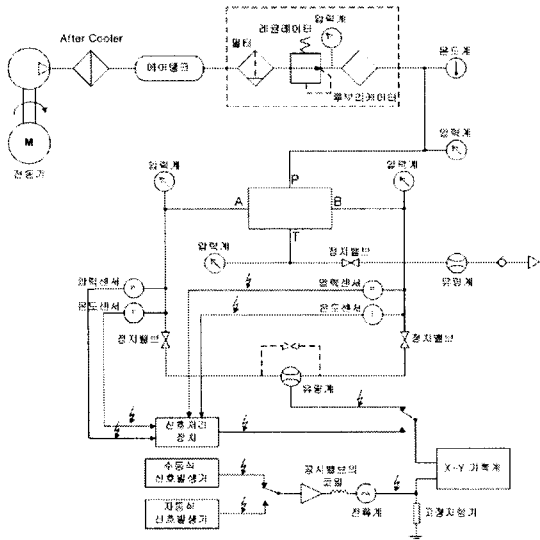


Fig. 3 The circuit of steady state test

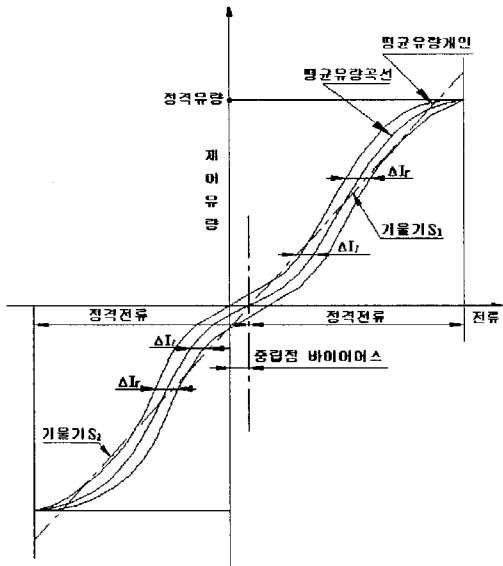


Fig. 4 No-load control flow characteristic

(2) 공시 밸브 공급압력을 5kgf/cm² {500kPa}로 설정한다.

(3) 신호 발생기 (삼각파 발진기)로 공시 밸브 및 계측 장치가 동적인 영향을 받지 않는 속도에서 공시 밸브 입력신호를 정(+)-부(-) 정격치에 예상되는 중립점 바이어스 신호를 가한 쪽에서 연속적으로 몇 회 왕복시킨 후, 1왕복시키고 X-Y 기록계 (또는 이에 대신하는 것)의 X 축에 입력신호를, Y 축에 공시 밸브 제어 유량을 기록한다. 여기서, 제어유량 측정 방법으로 정밀 유량계 또는 양단의 제어포트에 있는 압력 및 온도 센서를 이용하여 구할 수 있다.

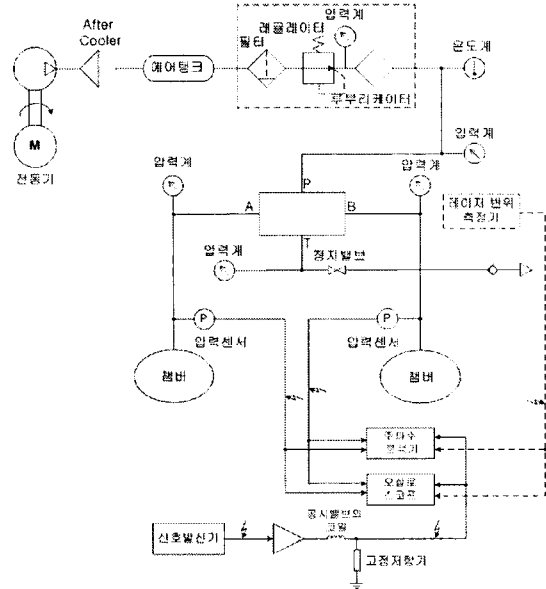


Fig. 5 The circuit of frequency response test

(4) 입력신호가 1왕복하는 동안 공급압력이 5kgf/cm² {500kPa}로 일정한 것을 확인한다.

(5) 시험결과로부터 Fig. 4에 따라 평균 유량 곡선을 그리고 평균 유량 개인을 구한다.

(6) 평균 유량개인으로 부터 히스테리시스, 직선성, 대칭성 등의 특성치를 구한다.

$$\text{히스테리시스}(\%) = \frac{\Delta I_{rmax}}{\text{정격 입력신호}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{직선성}(\%) = \frac{\Delta I_{lmax}}{\text{정격 입력신호}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{대칭성}(\%) = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100 \quad (4)$$

5. 동적 특성 시험

5.1 주파수 응답 시험

Fig. 5는 주파수 응답 시험회로이며, 시험순서는 아래와 같다⁽¹⁾⁽⁶⁾.

(1) 제어 유량 및 압력을 측정하기 위한 센서 및 시험 장치는 공시 밸브의 최고 시험 주파수보다도 충분히 높은 주파수 응답 특성을 갖는 것으로 해야 하며, 공시 밸브 공급압력을 공시 밸브의 정격압력으로 설정한다.

(2) 함수 발생기, 정현파 발진기 등으로 공시 밸브에 정현파 입력신호를 가한다.

(3) 정현파 입력신호와 공시 밸브 정격 입력신호의 ±10%, 25% 및 100%로 하고 주파수는 51Hz이거나 위상 지연이 90°인 주파수의 약 1/20 의 어느 것이든

낮은 주파수로부터 90°위상 지연을 포함하여 진폭비가 약 -20dB이 되는 주파수 범위로 한다.

(4) 공시 밸브의 동적특성에 비하여 충분히 높은 응답성을 가진 기록계의 X 축을 시간으로 하고 Y 축에 입력신호 및 제어 유량을 측정하기 위한 챔버의 압력과 온도를 동시에 기록한다. 일반적으로 유압서보밸브의 경우 저마찰 실린더의 변위를 측정하여 사용하나, 공기압 서보밸브의 경우 작동유체인 공기의 압축성으로 인해 일반적인 방법으로는 시험이 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 2가지 방법으로 시험을 수행하였다. 첫 번째 방법은 양쪽의 제어 포트에 챔버를 설치하여 챔버내의 압력 및 온도를 측정함으로써 제어유량을 산출하는 방법이며, 두 번째 방법으로는 서보밸브 스펙의 변위를 레이저 변위 센서를 이용하여 직접적으로 측정하는 방법이다. 이 방법은 가장 확실한 측정값을 얻을 수 있지만, 서보밸브에 따라 구조적인 문제로 직접적인 측정이 난해한 경우가 있어, 범용적이지는 못한 단점이 있다⁽¹⁾.



Fig. 6 The test device of servo valve

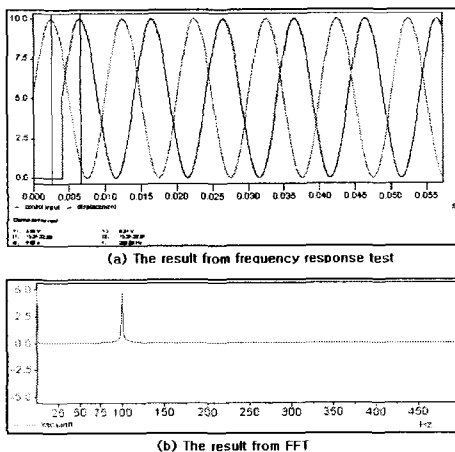


Fig. 7 The result from frequency response test of pneumatic servo valve

(5) 측정 주파수 범위에서 위상차와 가장 낮은 주파수의 진폭에 대한 진폭비를 읽고 보드 선도에 그것을 표시한다. 주파수 응답 특성은 보드 선도로 표시하는 것을 원칙으로 하지만 90°위상 지연의 주파수 및 진폭비의 피크치와 주파수 (피크가 발생하지 않은 경우에는 -3dB의 주파수)를 표시하여도 좋다. Fig. 6은 위의 시험방법으로 구성한 시험장치도이며, Fig. 7의 (a)는 제어입력 신호를 100Hz 주었을 때의 응답특성을 보여주고 있으며, (b)는 주파수 응답 시험 데이터를 FFT한 결과를 나타내었다.

6. 결론

본 연구에서는 공기압 서보밸브의 KS규격 정립을 위해 Linear force motor의 절연저항 및 코일 인덕턴스 시험과 무부하 제어유량 측정시험 그리고 주파수 응답시험에 관한 시험방법을 정리하였다.

특히, 주파수 응답 시험에 있어 챔버를 이용한 압축공기의 온도 및 압력으로부터 제어유량을 측정하는 방법과 레이저 변위 센서를 이용한 공기압 서보밸브 스펙의 변위를 직접 측정하는 방법을 제안하였다. 마지막으로 실험을 통해 제안한 방법의 구현 가능성을 검증하였다.

후기

본 연구는 산업자원부의 "공기압 서보 밸브 KS 규격 정립에 관한 연구" 과제 지원으로 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. D.S Kim, W.H. Lee, "Design and Dynamic Characteristic Analysis of the Direct driven-type Pneumatic Servo Valve," ICCAS2002, pp. 1577-1562, 2002.
2. FESTO, "Valve and Control Technology," FESTO, pp. 4.0.1-4.4.31, 2001.
3. Japanese Standards Association, "Test Methods for Electro-hydraulic Servo Valves," JSA, JIS B 8659, pp. 1-28, 1989.
4. ISO, "Hydraulic fluid power-Servo-valves-Test methods," ISO 6404, pp. 1-22, 1985.
5. 한국표준협회, "공기압용 3포트 솔레노이드 밸브," KS B 6356, pp. 1-6, 1987.
6. 한국표준협회, "전기유압 서보 밸브 시험 방법," KS B 0119, pp. 1-30, 1991.