

## 공압밸브의 동적응답 특성측정 자동화 시스템 개발

강보식                      김형의  
한국기계연구소          유공압연구실

### Development of Automatic Measurement System for Dynamic Respose Time of Pneumatic Solenoid Valve

Bo-Sig KANG              Hyoung-Eui KIM  
KIMM Hydraulic & Pneumatic Lab.

#### Abstract

Electro-pneumatic valve is an electro-mechanical device which converts electric signal into pneumatic flow rare or pressure. A measurement of dynamic response time is very important to evaluate valve performance. Dynamic response time of electro-pneumatic valve has a variation accord - ance with valve types, operating way and test standard. In this study, automatic measurement system of dynamic response time is composed based on test condition of dynamic response time test standard(CETOP, JIS). Also, in this study test pressure variation characteristics accordance with variation of solenoid excitation power, and we developed dynamic response measurement system enable to compare of and analyze these two characteristics.

#### 1. 서론

최근 산업현장에서 작업능률의 향상 인건비의 절감을 목적으로 공장자동화가 급속히 추진됨에 따라 자동화 설비의 핵심기기인 공압밸브의 수요가 급격히 증가하고있다. 공압밸브는 전기신호에 따라 제어부(Solenoid)를 작동하여 작동부(Body)의 공기압 출력을 연속적으로 제어하는 것으로 기계와 전기가 결합된 Mechatronics화된 제품이다. 현재 공압밸브의

개발방향은 산업의 자동화 및 로봇트화에 대응하기 위한 신기술 창출과 성능에너지화·컴팩트화를 위한 저소비·고신뢰성의 밸브개발에 노력하고 있다. 따라서 공압밸브의 질적수준 향상과 성능보증을 위한 정확한 시험 및 성능측정 시스템 개발이 매우 중요하게 되었다. 본 연구에서는 공압밸브류의 성능평가 및 특성을 고찰할때 매우 중요한 동적응답 특성을 세계 각종규격(JIS,CETOP)에 따라 측정회로를 구성하며, 밸브의 압력변화 특성을 검출하고, 솔레노이드(Solenoid)여자 전류의 변화에 따른 전류·전압파형 변화특성을 측정 두개의 특성을 분석 평가할 수 있는 공압밸브의 동적응답 특성 측정 시스템을 구성하였다.

#### 2. 공압밸브의 전환시간 특성

공압밸브는 메카니즘(Mechanism)상 크게 솔레노이드(Solenoid)부와 작동부(Body)로 나누어진다.

솔레노이드부에서는 기자력, 잔류자기, 전기적 과도 현상등에 의해 동적응답속도 특성이 결정되며 작동부에서는 스프링력(Return Spring), 스펴(Spool)의 전환 특성에 의해 응답특성이 결정된다.

##### (1) 솔레노이드부 동적응답 특성

솔레노이드란 솔레노이드 코일에 전류를 흘려 전자에너지를 발생시키고 이 에너지가 이용하여 기계적 에너지로 변환시키는 변환소자이다.

솔레노이드의 작동은 가동자 (Plunger)가 무여자상태에 있다가 코일에 전압이 인가되면 전류가 흐르고 이때에 발생하는 전자력에 의하여 플런저가 닫히게 된다. 솔레노이드의 특성을 수치적으로 해석하면 다음과 같다.

권선으로 구성된 회로에 주파수가 작용하면 인덕턴스 (Inductance)가 작용하여 유도기전력을 발생하게 되며 자기유도기전력  $e$ 는 다음식으로 표시된다.

$$e = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad [V] \quad (1)$$

여기서 R 및 L은 각각 코일의 저항 및 인덕턴스이며 인덕턴스는 아래와 같이 구할수 있다.

$$L = N \phi \\ = N \frac{Ni}{\frac{x}{\mu_0 \mu_{sp}} + \frac{\alpha l m}{\mu_0 \mu_{sp}}}$$

이므로

$$L(x) = \frac{\mu_0 \mu_{sp} N^2}{x + \alpha l m}$$

가 된다.

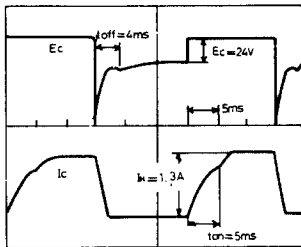


그림 1. 솔레노이드부 전류·전압파형 특성  
Fig 1. Current voltage characteristic of solenoid

이때 인덕턴스의 성분은 이 전력을 방해 및 유도하는 성질로서 솔레노이드(Solenoid)의 전원 OFF시에 강한 역기전력을 발생한다.

### (2) 작동부의 동적응답 특성

솔레노이드에 의해 작동하는 밸브의 작동부 전환 시간은 스풀 (Spool)의 동작특성이 지배적이다.

스풀의 운동 방정식은 스풀의 마찰력과 스프링 (Spring)힘을 무시하면 다음과 같다.

$$m \frac{dx}{dt} = A + Bx \quad (2)$$

(2)식의 양변에  $2dx$ 을 곱하여 적분하면

$$m (\dot{x})^2 = 2Ax + Bx^2 + C_1 \quad (3)$$

로 된다.

여기서 (3)식을 다시 정리하면

$$(\dot{x}) = \frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{2Ax + Bx^2}{m}} \quad (4)$$

(4)식을 적분하여 정리하면 전환시간  $t$ 와 스풀변위  $x$ 와의 관계식이 구해진다.

$$t = \sqrt{m/B} \ln \left[ \frac{x+r+\sqrt{2rx+x^2}}{r} \right] \quad (5)$$

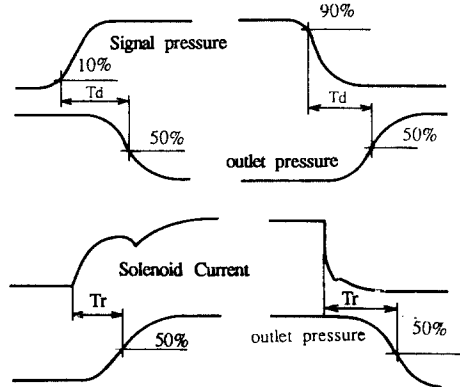


그림 2. 동적응답 특성  
Fig 2. Characteristic of dynamic response time

## 3. 동적응답특성 측정

공압밸브의 동적응답 측정의 기존 방법은 솔레노이드부 동적특성 측정보다 작동부 동적특성측정을 주로하고 있으며 이들 특성측정 방법으로는 JIS(B8375) 규격에 의한 측정법과 CETOP (RP82P)규격에 의한 측정법이 있으며 각 규격에서 명시하는 측정법은 다음과 같다.

### (1) JIS규격에 의한 동적응답특성 측정

밸브의 입구측에 압력 5kgf/cm<sup>2</sup> (5 bar)을 가하고 출구측의 포트A와 포트B에 압력 검출장치를 설치하여 밸브의 솔레노이드 여자회로에 정격전압을 가하고 출구측 포트A와 B에 설치된 압력검출장치의

각각에 압력이 검출될때 까지의 시간을 측정 밸브의 동적특성을 해석한다.

(2) CETOP(RP82P) 규격에 의한 동적응답특성 측정

CETOP규격에 다른 동적응답특성 시험은 밸브 출구측의 승압 (Rising Pressure)이 최대작동압력의 10% 또는 강압 (Falling Pressure)이 최대작동압력의 90%에 이르는 값과 출구측의 압력이 최대 평압의 50%에 이르는 값 사이에 경과되는 시간을 측정하거나 솔레노이드에 정격전압을 가하고 밸브의 출구측에 설치된 압력검출 장치(Pressure Transducer) 검출된 압력이 최대평압의 50%에 이르는 데 소요되는 시간측정 밸브의 동적특성을 해석한다. 동적 응답 특성 시험회로는 그림 3 과 같다.

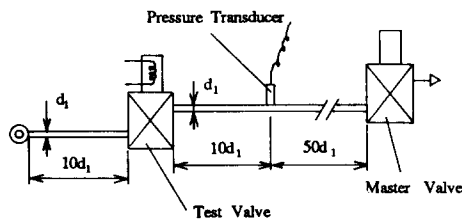


그림 3. 공압밸브의 동적응답 특성 시험회로

Fig 3. Measurement circuit for dynamic response time of pneumatic valve

공압밸브의 동적 응답시간은 솔레노이드를 여자시켜 밸브 출구측 압력이 상승하기 시작하는 (시간(A)와 출구측 압력 상승하여) 설정압력 5kgf/cm<sup>2</sup>의 90%에 이르는 시간 (B), 밸브의 압력이 설정압력 5kgf/cm<sup>2</sup>되어 안정화 되는 시간(C)로 나누어지며 이를 선도로나타내면 그림 4와 같다.

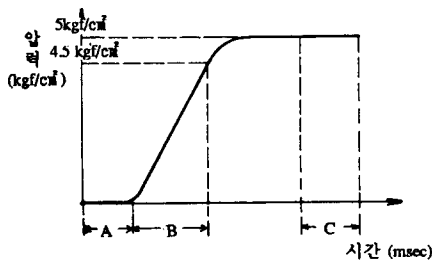


그림 4. 공압밸브의 응답시간 측정선도

Fig 4. Response time diagram of pneumatic valve

4. 동적응답 특성 시험 시스템 구성

본 연구에서는 공압밸브의 동적응답 특성 해석에 있어 작동부 동적특성 해석에 치우친 기존규격의 측정방식을 보완하여 솔레노이드부 동적특성을 동시에 해석할 수 있도록 구성하였으며, 기존규격에 의한 동적특성 측정시 타 규격에 의한 시험이 불가능한 문제점을 개선 시험조건 선정과 측정을 자동으로 행할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

4-1 작동부 구성

동적응답 특성시험을 위해 구성된 작동부 시험장치 구성은 그림 5와 같다.

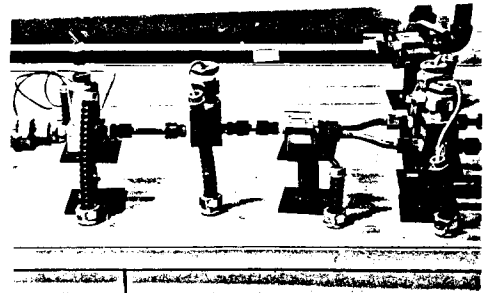


그림 5. 동적응답 특성 시험장치

Fig 5. Measurement system of dynamic response time

동적응답 특성 시험장치에는 15-5PH Stainless steel 이고, 내압이 14 bar, 감도 (Sensitivity)가 20mv/v인 압력센서(Pressure Transducer)를 시험밸브의 입구측과 출구측에 각각 설치하고 출구측의 양단에 on-off 밸브를 설치하여 유로 변경을 자유로이 변환시켜 기동시와 절환시의 동적응답 특성측정이 가능하도록 구성하였다.

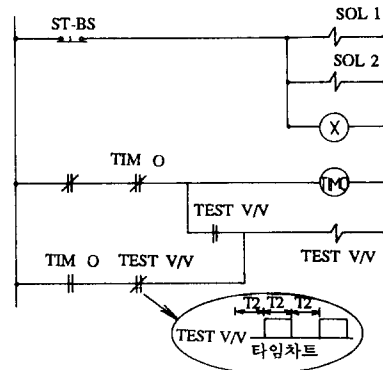


그림 6. 동적 응답 특성 측정 논리회로

Fig 6. Sequence circuit for response time measurement

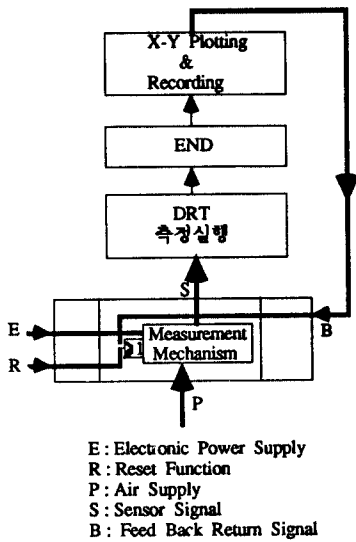


그림 7. 성능 측정 시스템 작동방식  
 Fig 7. Operating method of measurement system

4-2. 제어부 구성

소프트 웨어적인 구성은 C언어, 어셈블러(Assembler), RS-232C로 이루어져 있으며 작동부의 제어 및 데이터 처리 (Data Acquisition)는 C언어, 어셈블러로 하였다. 성능측정을 위한 제어용도는 그림 8과 같다.

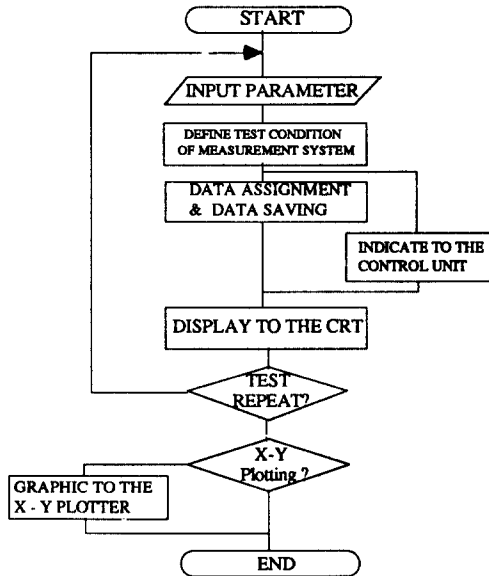


그림 8. 성능측정 시스템의 제어 유통도  
 Fig 8. Flow chart of measurement system

하드웨어적인 구성은 각 센서(Sensor)로 부터의 입력 신호는 센서 분할장치에서 H/S A/D 컨버터 (Converter)를 거쳐 컴퓨터 (IBM-PC)에 입력됨과 동시에 지시부의 계기에 표시되며 측정상태는 CRT상에 디스플레이(Display)되도록 하여 결과분석을 확인할 수 있도록 하였다.

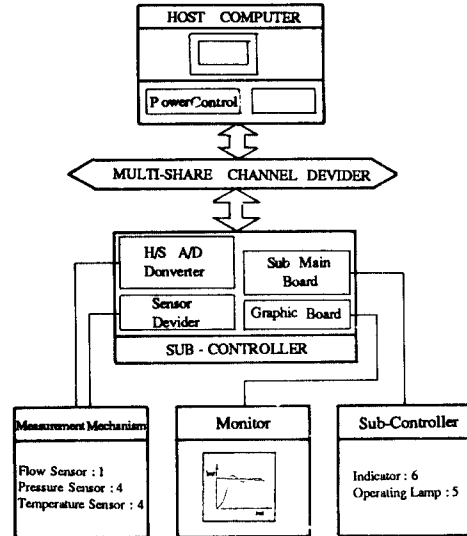


그림 9. 하드웨어 구성  
 Fig 9 Hardware diagram

4-3 지시부 구성

지시부 (Sub Controller)는 성능측정 시험항목의 시험상태 및 시험결과를 확인할 수 있도록 구성하였으며, 시험장치의 작동준비상태, 밸브의 유로 개폐 상황, 센서의 오동작 여부 등을 직접 확인 수정할 수 있도록 구성하였다. 지시부 구성도는 그림 10과 같다.

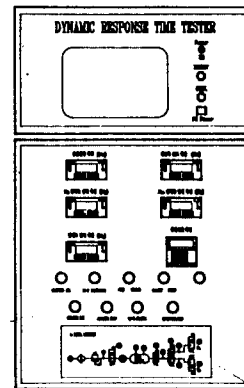


그림 10. 지시부의 구성  
 Fig 10. Composition of sub controller

## 5. 시스템 구성결과 및 고찰

본 연구개발을 통해 구성된 시스템의 작동부 (Measurement Mechanism)와 지시부 (Sub Controller)의 실제 형상도 그림 11과 그림 12와 같다.

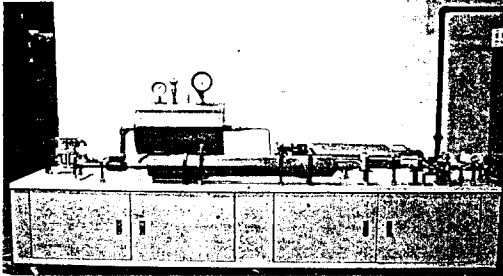


그림 11. 작동부의 실제 형상도  
Fig 11. Measurement mechanism

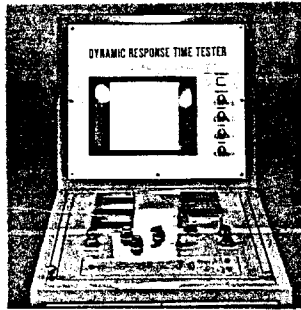


그림 12. 지시부의 실제 형상도  
Fig 12. Sub - controller mechanism

구성된 시스템의 성능측정 결과를 확인하기 위해 세계유명 공압밸브 회사 (Pneumatic Valve Maker)인 SMC사의 공압밸브를 사용하였으며, 측정된 결과는 그림 13과 같다.

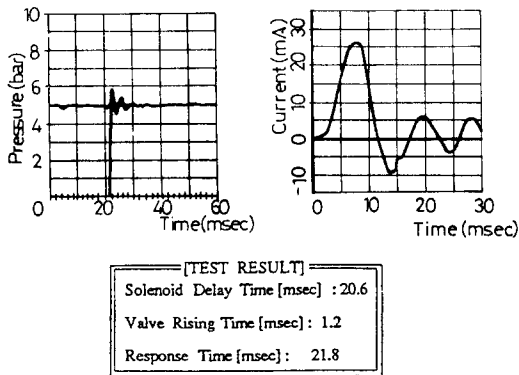


그림 13. 성능측정 시험 결과  
Fig 13. Experimental result of test valve

Table 1. 은 SMC사의 공압밸브를 본 연구에서 구성된 시스템에 설치하여 측정된 결과치와 설계 사양자료를 비교한 결과를 보여주고 있다.

Table 1. 측정결과와 설계사양 비교  
Table 1. Comparasion of test result and specification

	DYNAMIC RESPONSE TIME
SYSTEM TEST RESULT	21.8ms
MAKER SPECIFICATION	30ms 이하

## 6. 결론

공압밸브의 동적응답특성 측정 시스템의 구성과 기존측정 방식 보완을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 동적응답특성 측정을 위한 시험규격<JIS(B8375), CETOP (RP82P)>의 조건을 동시에 만족한 시스템 구성으로 공압밸브의 저소비, 저작동 메카니즘 (Mechanism)설계 및 성능판정이 매우 용이하고, 제품성능 보증이 가능하게 되었다.
- (2) 특정 규격에 의한 동적응답 시험 시스템 구성시 타규격에 의한 시험이 불가능한 문제점을 개선 시험조건 선정과 측정을 자동으로 행할 수 있도록 시스템을 구성하였다.
- (3) 공압밸브의 동적응답 특성 해석에 있어 작동부 동적 특성 해석에 치우친 기존 측정방식을 보완 하여 솔레노이드부 동적 응답 특성을 동시에 해석 비교·분석할 수 있게 하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 大橋 孝泰, 權田 正弘, "知 ソたエアトロニクス",  
ジッパンニスト社, PP. 102~115
- [2] 久津見 一, "空氣壓 機器と應用回路",  
日刊工業新聞社, PP. 66~71