

비례 모듈레이터 특성

윤소남*(KIMM), 최병오(KIMM), 김찬용(KIMM), 박평원(KIMM), 이경우(경원훼라이트공업㈜)

Experimental Characteristics of the Electro-Pneumatic Proportional Modulator

S. Yun(KIMM), B-O Choi(KIMM), C-Y Kim(KIMM), P-W Park(KIMM),
G-W Lee(Kyungwon Ferrite Industry Ltd.)

ABSTRACT

In this paper, proportional modulator which controls the second pressure of the pneumatic system was studied and proportional operating of modulator was gotten by two digital valves that have a fast dynamic characteristics and were controlled by PWM operating method. In order to more precision pressure control, this modulator consist of not only high speed two digital valves but also pressure sensor, measurement equipment and controller having a microprocessing function.

In this study, for the development of the new proportional modulator, various research such as PWM control method, test equipment manufacturing, testing and evaluation were accomplished.

Key Words : Proportional pressure modulator (비례압력 모듈레이터), PWM control (펄스폭 변조방식 제어), On-off solenoid (온-오프 솔레노이드), PID control (PID 제어), Digital valve (디지털 밸브)

1. 서론

본 연구에서 대상으로 하는 비례 모듈레이터는 고속응답성을 갖는 두개의 디지털밸브를 이용하여 공기나 개스와 같은 유체의 압력을 비례적으로 제어 하는 기기로서 제어장치, 제어장치의 명령에 의해서 구동되는 디지털 밸브와 주압력을 제어하는 포켓밸브, 포켓밸브의 동작에 의해서 제어되는 압력을 센싱하는 압력센서로 이루어져 있다.

유체의 2차압력을 제어하는 모듈레이터는 일반 산업분야에서 반도체 조립공정에 이르기까지 매우 다양하게 응용되고 있으며, 최근에는 성능과 신뢰성 분야에 있어 사용자의 엄격한 요구 조건이 제기되고 있다. 일반적으로 솔레노이드 방식은 솔레노이드가 가지고 있는 온도 의존특성 및 에너지소비면에서 많은 연구자들에 의해서 개선되어오고 있으며, 응답성 향상을 위한 과제로서 신물질, 기능성 재료에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다.

본 연구에서는 전술한 기존의 솔레노이드 제어방식을 대신하는 새로운 제어방식을 제안하기 위한 기초연구로서 현재 산업계에 응용되고 있는 모듈레이

터에 대한 특성분석을 수행하였으며, 그 결과들을 분석하였다. 또한, 모듈레이터의 구성품인 포켓밸브, 압력센서, 디지털밸브, 제어기와 관련하여 기초적인 연구가 수행되었다. 제어기 설계부분에서는 펄스폭 변조방식을 개선하는 연구, 연구대상 모듈레이터의 성능을 객관적으로 평가하기 위한 성능시험장치 설계·제작, 재현적이고 신뢰성 있는 데이터 확보를 위한 연구들이 병행되어 이루어졌다.

2. 비례압력 모듈레이터

Fig. 1에 본 연구의 대상인 비례압력 모듈레이터의 제어흐름도를 보였다. 압력공기의 흐름은 흡입(Input) 부에서 각각 입력밸브(Input valve) 및 출력밸브(Output valve)로 전달되며, 출력밸브의 움직임은 입력밸브 및 배기밸브(Exhaust valve)의 적절한 상호 동작에 의해서 이루어진다. 또한 입력 및 배기밸브의 동작은 소정의 목표값과 압력센서의 값 차이를 제어기가 비교하여 신호를 발생시킴으로써 이루어지게 된다.

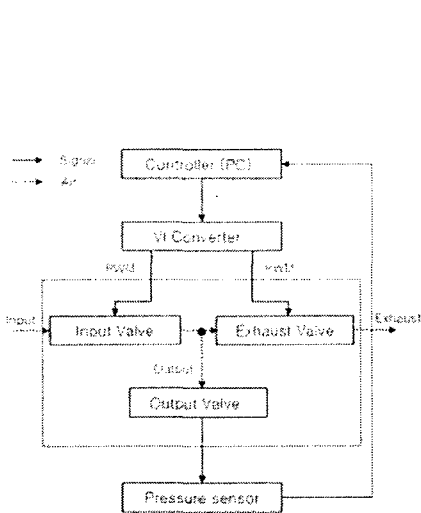


Fig. 1 Operating schematic diagram of the modulator

일반적으로 Fig. 1에 나타내는 비례 모듈레이터의 압력제어는 PID 제어방식으로 쉽게 해결할 수 있으며, 최적의 제어 알고리즘을 구현하는 방안이 매우 중요하다. 본 연구에서 이루어지는 실험 및 평가 방법에 있어서 기본적인 제어기 및 제어블록선도는 다음과 같이 구성되어 진다.

$$V = K_p \cdot (P_d - P) - K_d \cdot P_v + K_i \cdot \int (P_d - P) dt \quad (1)$$

V : Control Input P_d : Desired Pressure
 P : Actual Pressure P_v : Derivate of Pressreure
 K_p : Proportional Gain K_i : Integral Gain
 K_d : Derivative Gain t : Continuous Time

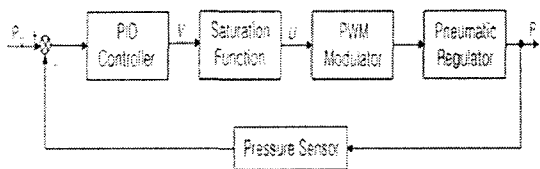


Fig. 2 Control block diagram of the modulator

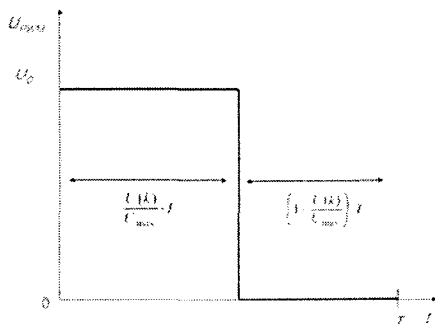


Fig. 3 Duty ratio of PWM algorithm

Fig. 3는 duty 비에 따른 밸브의 온·오프 시간의 변화를 보여준다. 여기서 U_{pwm} , U_0 , $U(k)$, U_{max} , k 및 T 는 PWM출력전압, 밸브 개방을 위한 인가전압, 포화함수의 출력값, 포화함수의 최대값, 이산시간 및 PWM의 한 주기를 각각 나타낸다. 여기서 $U(k)$ 가 U_{max} 보다 클 때에는 밸브 개방시간은 T 가 된다.

일반적인 온·오프 구동방식으로는 공압 모듈레이터의 압력을 비례적으로 제어는 할 수 없지만 Fig. 4에서 보는 바와 같이 PID제어기의 '0' 과 '1' 사이의 제어 입력 값을 이용하여 흡기와 배기 솔레노이드 밸브의 개방 시간을 조절함으로써 압력을 비례적으로 제어 할 수 있다.

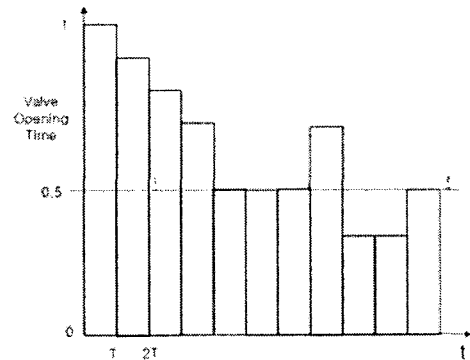


Fig. 4 Valve opening time by conventional PWM

포화함수로써는 제어 입력값을 '0' 과 '1' 로 변환시켜주는 식(2)와 같은 Hyperbolic Tangent Sigmoid함수를 사용하였다.

$$U(k) = \frac{1}{1 + e^{-v(k)}} \quad (2)$$

여기서 $v(k)$ 는 PID 제어 출력값 $V(k)$ 의 이산값이다.

따라서 이 경우 U_{max} 는 '1' 이 된다. 즉, 포화함수의 출력값에 주기 T 를 곱하면 간단히 흡기 솔레노이드 밸브의 개방시간이 된다. 상기의 밸브 개폐시간을 계산하는 알고리즘을 정리하면 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$U_{PWM} = \begin{cases} U_0 & 0 \leq t_p(kT) \\ 0 & t_p(kT) < t \leq T \end{cases} \quad (3)$$

$$t_p(kT) = \frac{U(k)}{U_{max}} \cdot T$$

t_p : Opening Time of the Solenoid Valve for a Cycle

예를 들어 포화함수의 출력값이 0.6이면 흡기 솔레노이드 밸브의 개방시간은 $0.6T$ 가 되고 배기 솔레노이드 밸브의 개방시간은 $(1-0.6)T = 0.4T$ 가 됨을 의미한다. 그러나 상기 알고리즘은 압력이 목표압력에 도달하더라도 흡기 및 배기 솔레노이드 밸브가 한 주기마다 번갈아 온·오프가 되므로 전력소모가 심하고 정착성이 떨어지는 단점을 가지고 있다.

식(1)에서 제어압력값 V 는 PID 제어기로부터 연산되어지고, 연산된 제어 압력은 포화함수를 거쳐 0과 1 사이의 값으로 계산되며 PWM 출력시간으로 변환되어 개폐식 압력 및 배기밸브를 구동시켜 최종적으로 모듈레이터 2차압력을 제어하게 된다.

3. 실험 및 결과고찰

Fig.5는 본 연구에서 제안하는 모듈레이터의 성능을 검사하기 위하여 제작된 실험장치이며 Fig.6은 Fig.5 실험장치의 컴퓨터 인터페이스 개략도를 보이는 것이다. 본 연구에서는 새로운 방식의 모듈레이터 개발을 위한 기초 연구로 대상샘플의 특성을 분석하는데 목적이 있기 때문에 모듈레이터의 특성을 결정하는 히스테리시스특성, 스텝응답특성, 주파수응답특성을 평가하기로 한다.

실험에 있어서 제어/계측 샘플링 시간은 1KHZ로 이루어졌다.

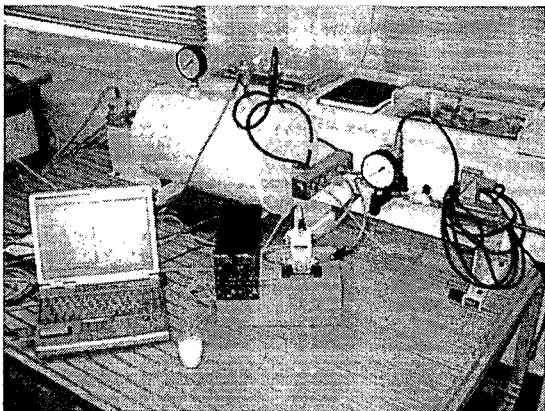


Fig.5 Experinemta aparatus

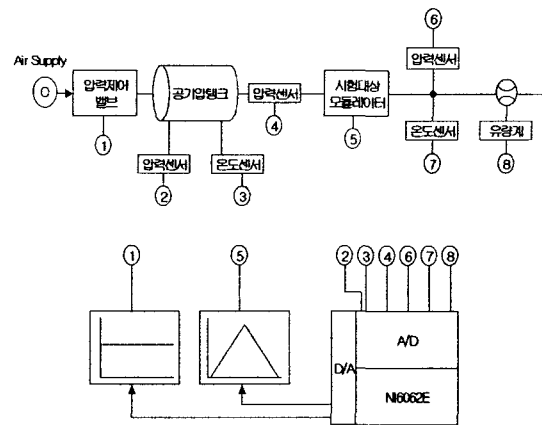


Fig.6 Computer interfacing for modulator evaluation

Fig.7은 연구의 대상으로 하는 모듈레이터의 히스테리시스 특성실험 결과를 보이는 것으로, 비교를 쉽게 하기위해서 입력전압과 출력 압력의 표시를 1:1로 하였다. 실험결과로부터 알 수 있는바와 같이 모듈레이터를 구성하고 있는 부품들의 가공이 매우 정교하게 이루어졌음을 예측할 수 있으며, 자체적으로 제어가 매우 빠르게 이루어지고 있음을 알 수 있다. 연구자들의 계산에 의하면 히스테리시스는 1.1% 정도임이 확인되었다.

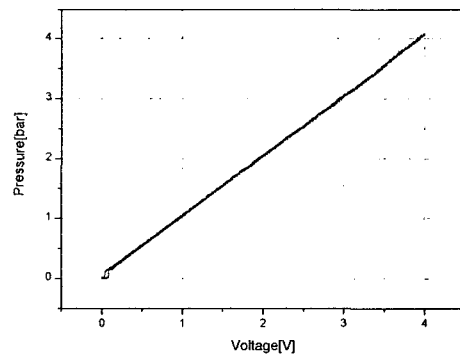


Fig.7 Hysteresis characteristics

Fig.8은 연구대상 모듈레이터의 스텝응답 특성을 보이는 것으로, 0에서 4bar에 해당하는 입력을 계단 형태로 주었을 때의 결과를 나타낸 것이다

Fig.8에서 알 수 있는 바와 같이 본 연구대상 모듈레이터는 과도응답 특성 없이 매우 부드럽게 목표로 하는 압력 응답이 얻어짐이 확인되었다. 실험 결과로서 지연시간 0.029[s]가 얻어졌으며, 결론적으로 일반적인 솔레노이드의 응답성을 가지고 있음을 예측할 수 있었다.

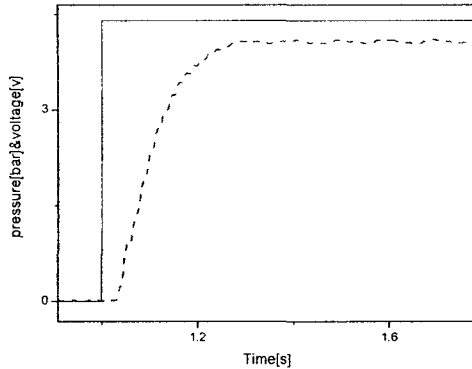


Fig.8 Step response characteristics

Fig.9는 연구의 대상으로 하는 모듈레이터의 주파수 응답 특성을 보이는 것이다. 그림에서 알 수 있는바와 같이 위상지연 및 게인 값의 변화가 비례적이며, -90° 위상지연 및 $-3[\text{dB}]$ 게인에서 $5[\text{Hz}]$ 의 특성을 갖는 모듈레이터임이 평가되었다. 2장에서 전술한바와 같이 2개의 디지털 밸브의 펄스폭변조에 의해서 제어되고 있는 모듈레이터는 속응성이 매우 중요하며, 파이로트부에 적용되는 밸브의 속응성이 모듈레이터 전체의 응답성을 결정함을 알 수 있다.

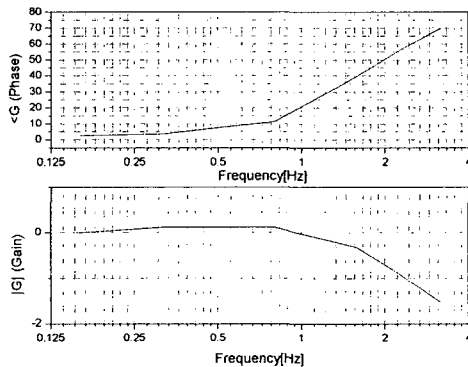


Fig.9 Frequency response characteristics

4. 결론

본 연구에서는 솔레노이드 액추에이터를 이용하여 디지털밸브로 사용되는 제어방식 대신에 새로운 제어방식을 제안하기 위한 기초연구로서 기존의 모듈레이터에 대하여 PWM 제어기법 분석 및 개선연구를 수행하였다. 기존의 모듈레이터 특성을 분석하

기 위하여 실험장치를 설계/제작하였으며, 연구대상 모듈레이터의 히스테리시스특성, 스텝응답특성, 주파수응답특성 분석이 실험을 통하여 이루어졌다. 본 연구를 통하여 새로운 제어기법의 유용성 및 신기능성 재료에 의한 새로운 액추에이터의 가능성이 제시되었다.

본 연구의 결과는 산업계에 적용되는 공기압 분야의 비례압력제어 모듈레이터 설계 및 개발에 가치 있는 자료가 될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Bruno P. Lequesne, "Finite Element Analysis of a Constant-Force Solenoid for Fluid Flow Control," IEEE, Tran. Industrial Application, Vol. 24, No. 4, pp. 574-581, 1988.
2. Grit Geiler, "Modellbildung von Proportionalmagneten mittels konzentrierter Parameter," pp. 49-52, 2001
3. C.S.Koh, J.O.Kim, S.Y.Hahn and Osama. A. Mohammed, "Optimum design of Voice Coil Motor with constant torque coefficients using evolution strategy," Journal of Applied Physics, Vol. 75(10), pp. 6045-6047, 1994
4. Sonam Yun, Kyungwoo Lee, and Honghee Kim, "Development of the Pneumatic Valve with Bimorph Type Piezoelectric Actuator", 1st international Workshop on Piezoelectric Materials & Applications in Actuator, pp. 118, 2004
5. J.-H Park, K. Yoshida, S. Yokota, T. Seto, k.Takagi, Y.-B Ham, S.N. Yun, "Resonantly-driven piezoelectric Micropumps Using Active Check Valves", 9th International Conference on new actuators & 3rd International exhibition on smart actuators and drive systems(Actuator 2004 Bremen), pp. 557~560, 2004
6. J.S.Jang, Y.B.Kim, I.Y.Lee, S.N.Yun, "Design of a Synchronous Position Controller with a Pneumatic Cylinder Driving systems SICE annual conference in Sapporo, pp. 295~299, 2004
7. Jae Seop Ryu, Mi Ran S대, Chang Seop Koh, Sonam Yoon, and Dong Soo Kim, "Optimal Design of Constant-force Solenoid for Pressure Control Sensitivity Analysis", The 11th Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation pp. 390, 2004
8. Sonam Yun, "Electro-Magnetic Proportional Solenoid", JFPS. Vol.35, No. 5, pp. 342~347, 2004