

2방향 전자밸브 PWM압력제어특성의 실험적 비교연구 Experimental Study on the PWM Pressure Control Characteristics of 2 Way Solenoid Valve

정 현술(군산대 기계공학부), 박성진, 김창완(군산대 대학원)

Heon-sul Jeong(Kunsan Univ), Seong-kin Park, Chang-wan Kim(Graduate School, Kunsan Univ)

ABSTRACT

Pressure control is possible by pulse width modulation signal driving a simple ON/OFF 2-way valve of hydraulic servo system. But it induces pressure fluctuation due to repeated on-off action and the pressure varies according to the duty ratio and carrier frequency. So mean pressure and ripple amplitude are arranged by experimental study as the driving signal change which decides the pressure characteristics. As the result selection criteria of the major design parameters may be established and the basic strategy to suppress the unnecessary fluctuation may be provided for a hydraulic pressure control system.

Key Words : 2-way Solenoid Valve(2방향 전자밸브), Pulse Width Modulation(펄스폭변조), Pressure Control(압력제어), Mean Pressure(평균압력), Pressure Ripple(압력맥동), Duty Ratio(듀티율)

1. 서론

유압식 서보시스템을 구성하기 위해서는 반드시 연속제어가 가능한 비례제어밸브나 서보밸브가 필요하다. 한편 작업환경이 좋지 못한 일반 산업기계에의 응용이나 적은 투자의 간이 자동화에 단순한 전자(solenoid)밸브를 이용하고자 시도되고 있다.

단순 전자밸브는 가격이 저렴하고 오염에 민감하지 않으며 제어방법이 간단하기 때문에 실린더의 위치제어나 압력제어용으로 많이 사용되며 그 예로서 펌프의 사판각도 제어, 농기계나 트랙터의 위치제어 또는 자동차의 자동변속기, 브레이크장치 등의 압력제어 등에 사용된다. 큰 용량의 유량제어가 필요할 경우에는 유량제어밸브를 조절하는 파일럿 밸브로서 사용되기도 한다. 그런데 전자밸브로 개폐동작을 반복하면 압력맥동이 주기적으로 발생하며 유체의 급격한 차단으로 발생하는 수격(water hammer)현상

과 고압 반사파가 필연적으로 수반되어 시스템의 수명을 단축시키거나 진동 및 소음을 발생시키는 요인이 된다.

Tanaka 등⁽⁵⁾은 고속전자밸브에 대한 펄스폭 변조 부하-압력, 부하-유량특성, 3방향 밸브의 압력제어 특성 및 압력맥동의 크기에 대하여 연구하였다. 정현술⁽³⁾은 3방향 전자밸브의 압력제어 특성을 이론적으로 해석하여 그 타당성을 실험적으로 증명할 바 있다. 이와 같이 3방향 밸브의 압력제어 특성에 대한 연구는 근사적 해석 또는 엄밀한 해석이 수행되어 단순 전자밸브로 서보시스템을 구성하기 위한 기초가 충분히 마련되어 있는 반면 2방향 밸브는 특성 해석이나 주요 설계변수인 반송주파수와 듀티율의 결정 근거가 전혀 발표되지 않고 있다. 그 이유는 일반적으로 2방향밸브 압력제어 시스템은 미터-아웃(meter-out) 회로로 구성되기 때문에 릴리프밸

브(relief valve)와의 동특성이 혼합되어 있어 이를 해석하기 위한 적절한 수단이 없기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 단순 개폐식 2방향 전자밸브를 펄스폭 변조신호로 구동할 때 Meter-out 회로의 압력제어 특성을 3방향 전자밸브의 특성과 실험적으로 비교 분석하고자 한다. 이로서 개폐식 전자밸브를 사용하여 서보시스템을 구성할 때의 설계변수로서 반응주파수와 듀티율의 선정기준을 제공하며 또한 압력제어시 수반되는 맥동을 억제하기 위한 전략수립의 이론적 근거자료를 제시하고자 한다.

2. PWM 압력제어시스템

단순 전자밸브로는 주로 2방향밸브와 3방향밸브가 압력제어에 사용되고 있는데, Fig. 1~2와 같이 3방향밸브는 Meter-In 방식 그리고 2방향밸브는 Meter-Out 방식으로 구성된다.

입력신호에 따라 그 크기와 진폭이 반응주파수나 듀티율에 따라 크게 달라진다. 진폭이 커질수록 지속적인 진동을 유발하기 때문에 시스템의 수명에 크게 영향을 주고, 맥동 크기를 감소시키기 위해 반응주파수를 키우면 밸브의 응답지연으로 인해 고듀티율과 저듀티율 부근에 불감대가 형성되어 제어영역이 형성되어 압력제어가 어려워진다. 따라서 적절한 압력제어가 이뤄지기 위해서 입력신호의 주파수와 듀티율 그리고 응답 압력과 맥동크기에 대한 명확한 분석이 필요하다. 단순 전자밸브(Simple ON/OFF Valve)의 PWM방식 구동 Timing을 개념적으로 표시하면 Fig.3과 같다.

한편 Fig. 2의 2방향밸브 시스템에서 전자밸브가 개방된 경우와 폐쇄된 경우의 연속방정식을 기술하면 각각 다음 식(1)~(2)과 같다.

$$\frac{V_L}{\beta} \dot{P}_L(t) = Q_S - Q_V \quad (1)$$

$$\frac{V_L}{\beta} \dot{P}_R(t) = Q_S - Q_R \quad (2)$$

밸브가 장시간 개방된 경우를 고려해 보면 모든 펌프 유량이 밸브를 통해 배출되기 때문에, 압력은 점점 하강하다가 밸브 개구면적의 오리피스 효과로

인해 대기압까지 도달하지 못하고 일정한 압력이 형성된다. 이때의 잔압을 P_0 라 하면 펌프 토출유량 Q_S 와 다음의 관계가 성립한다.

$$Q_S = C_D A_m \sqrt{\frac{2}{\rho} P_0} \quad (3)$$

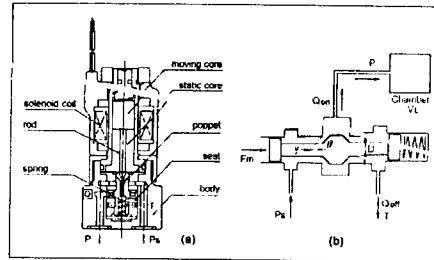


Fig. 1 Schematic diagram of 3-way solenoid valve system

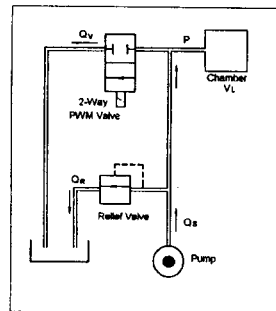


Fig. 2 Circuit of 2-way solenoid valve system

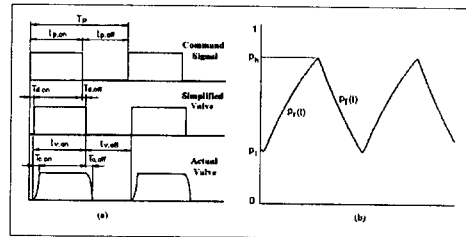


Fig. 3 Timing chart of valve operation

3. PWM 압력제어 실험

3.1 실험장치의 구성

개폐식 전자밸브의 PWM 구동특성을 확인하기 위해 다음 Fig.4와 같이 실험장치를 구성하였다. 유압시스템의 공급압력은 소형 저압 저동력장치나 파일럿 압력의 수준인 50bar를 기준으로 실험하였다. 실험결과 잔압 P_0 은 18bar이었으며 3방향밸브는

시스템 압력을 40bar 기준으로 실험하였다.

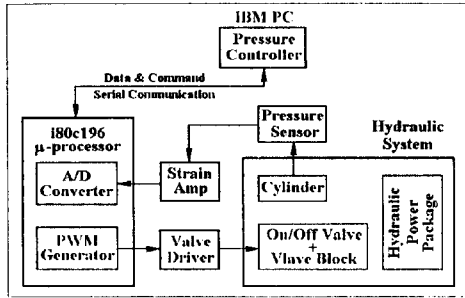


Fig.4 Experimental setup of the on-off solenoid valve system

압력이 형성되는 검사채직은 체적 251cc인 작은 실린더의 헤드측 챔버를 사용하였으며 실린더와 밸브블록 사이는 직경 12.5 mm 및 길이 2m의 고압호스로 연결하였다. 실험은 약 1초동안 측정한 2천여 개의 압력값 중에서 정상상태에 도달한 이후의 데이터를 사용하여 최대값과 최소값을 선별하여 압력의 봉우리와 골짜기를 계산한 후, 이 최소값과 최대값의 평균을 평균압력으로 그리고 이 차이를 맥동크기로서 구했다. 그런데 반송주파수가 클 경우에 압력 맥동은 크기가 매우 작아서 A/D변환기의 자릿수의 한계로 불연속적인 곡선이 구해지므로 이를 15차 커브피팅하여 표시하였다.

3.2 실험 결과

반송주파수를 고정시키고 듀티율을 100%까지 2% 간격으로 증가시킨 경우 평균압력을 보면 2방향밸브와 3방향밸브가 각각 Fig.5 및 6 그리고 압력맥동은 Fig.7 및 8과 같다. 반대로 듀티율을 일정하게 고정시킨 채 반송주파수를 150Hz까지 2.5Hz 간격으로 증가시켰을 때 형성되는 평균압력을 보면 Fig.9 및 10 그리고 압력맥동은 Fig.11 및 12와 같다.

그리고 시스템압력을 50bar에서 40bar와 60bar로 변경시켰을 때 형성되는 평균압력은 2방향밸브와 3방향밸브가 각각 Fig.13 및 14 그리고 압력맥동은 각각 Fig.15 및 16과 같다.

4. 결과 검토 및 결론

본 논문에서는 단순 개폐식 2방향 전자밸브를 펄스폭 변조신호로 구동할 때의 압력제어 특성에 대하여 그 특성이 이미 알려진 3방향밸브와 실험적으로

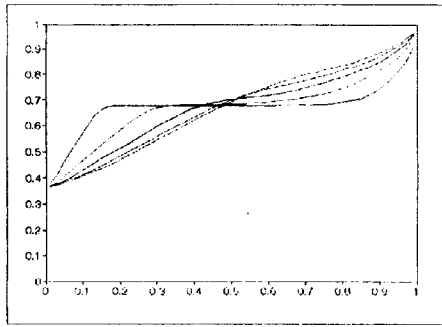
비교평가하기 위한 연구를 수행하였다.

가장 큰 특징으로 3방향밸브는 시스템 공급압력 P_S 를 포함한 전 영역에서 압력제어가 가능하지만 2방향밸브는 펌프 토출량에 해당하는 잔압 P_0 이하의 압력은 제어가 불가능하다. 그리고 반송주파수와 듀티율이 변화할 때 형성되는 평균압력과 맥동크기는 2방향밸브의 압력형성 영역이 P_0 에서 P_S 까지이고 3방향밸브는 대기압에서 P_S 까지임을 고려하면 거의 동일한 특성을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 공급압력 P_S 가 변화할 경우에도 잔압 P_0 는 그대로 유지되므로 2방향밸브는 3방향밸브와 달리 압력형성 영역이 공급압력에 따라 변화함을 알 수 있다.

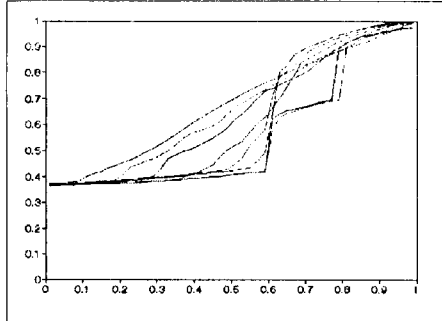
이로서 2방향밸브의 평균압력과 압력맥동에 관한 제어특성은 시스템 잔압 P_0 를 알면 3방향밸브의 특성으로부터 그 압력제어 특성이 유추가능함을 보였다. 따라서 개폐식 2방향 전자밸브를 사용하여 펄스폭 변조신호로 구동되는 유압시스템을 구성할 때 주요 설계변수인 반송주파수와 듀티율의 선정기준을 마련하였으며 이 결과를 압력제어시 수반되는 불필요한 맥동을 억제하기 위한 전략수립의 기초자료로 사용할 수 있다.

참고문헌

- (1) 田中 裕久, 소화 62년, "유공압의 디지털 제어와 응용", 근대도서(주)
- (2) Tanaka, H., Araki, K., Ogimura, Y. and Hamamoto, S., 1985, "Electro-Hydraulic Digital Servo-Mechanism by the Pulse Flow Control", Proc. Int. Symposium on Fluid Control and Measurement, Tokyo, Japan, pp.429-434
- (3) 정현술, "개폐식 3방향 전자밸브의 펄스폭변조 구동에 의한 압력제어특성에 관한 연구", 대한기계학회논문집, 제21권 제3호, pp.223-239, 1997년 3월
- (4) 장효환, 안병호, 이춘호, 1987, "유압 위치제어 시스템의 단속적제어방법에 관한 연구", 대한기계학회논문집, 제11권 제3호, pp.465-472, 1987
- (5) Hirohisa, T. Hiroyoshi, T., 1988, "Fluid Power 8, Pulse flow control valves and simplified proportional valves" Proc. 8th Int. Symp. on Fluid Power, BIIRA

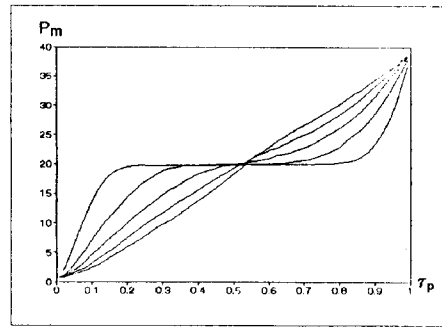


(a) Carrier frequency 2~10Hz, 2Hz interval

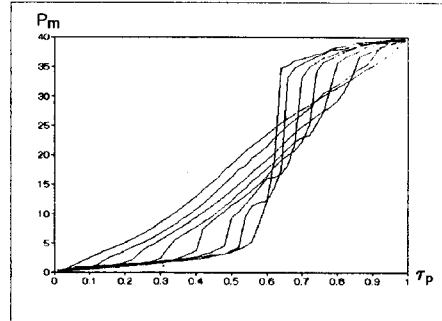


(b) Carrier frequency 20~150Hz, 20Hz interval

Fig.5 Mean Pressure due to D.R change of 2way valve



(a) Carrier frequency 2~10Hz, 2Hz interval



(b) Carrier frequency 20~150Hz, 20Hz interval

Fig.6 Mean Pressure due to D.R change of 3 way valve

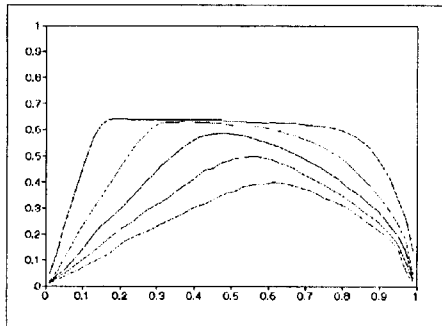


Fig.7 Pressure Ripple due to D.R change of 2 way valve

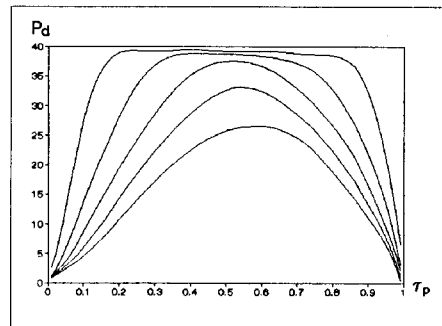


Fig.8 Pressure Ripple due to D.R change of 2 way valve

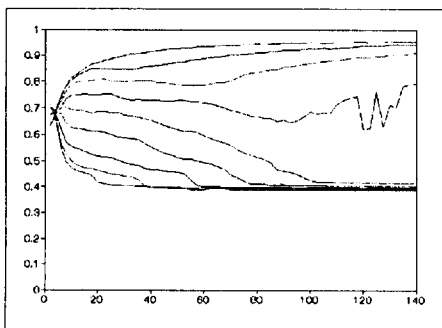


Fig.9 Mean Pressure due to C.F. change of 2way valve

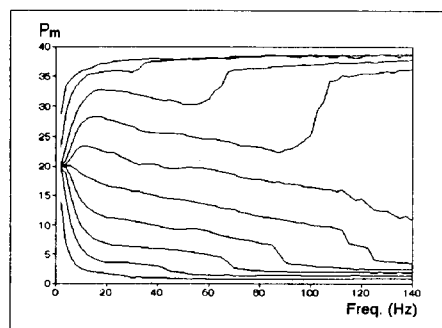
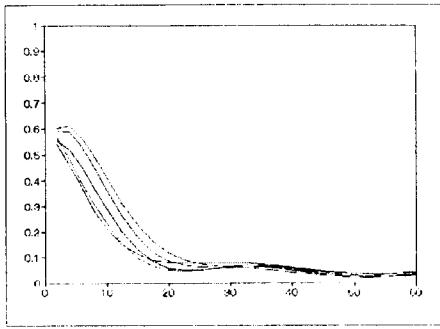
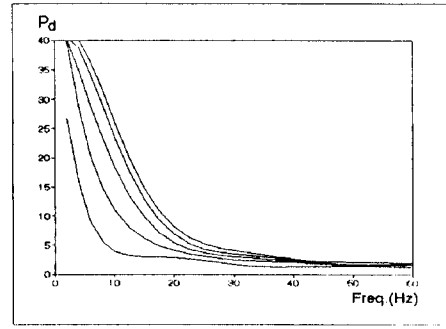


Fig.10 Mean Pressure due to C.F. change of 2way valve



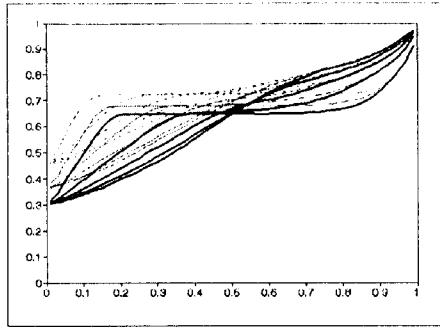
(a) Duty Ratio 10~50%, 10% interval

Fig.11 Pressure Ripple due to C.F. change

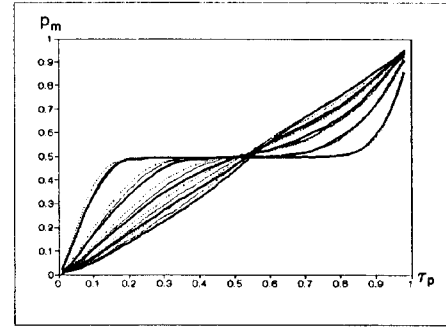


(a) Duty Ratio 10~50%, 10% interval

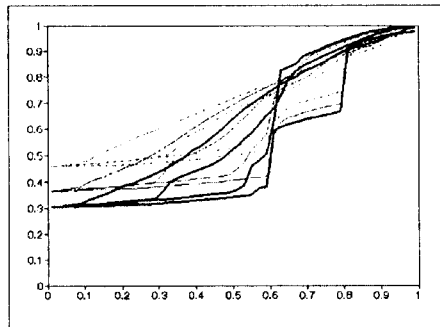
Fig.12 Pressure Ripple due to C.F. change



(a) Carrier frequency 2~10Hz, 2Hz interval

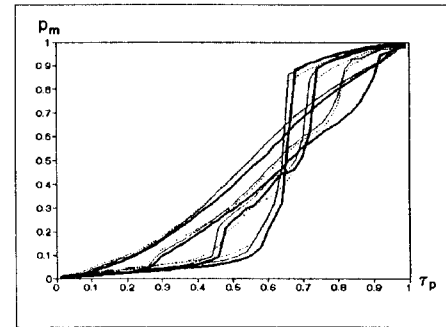


(a) Carrier frequency 2~10Hz, 2Hz interval



(b) Carrier frequency 20~140Hz, 40Hz interval

Fig.13 Mean Pressure due to P_s change of 2 way valve



(b) Carrier frequency 20~140Hz, 40Hz interval

Fig.14 Mean Pressure due to P_s change of 3 way valve

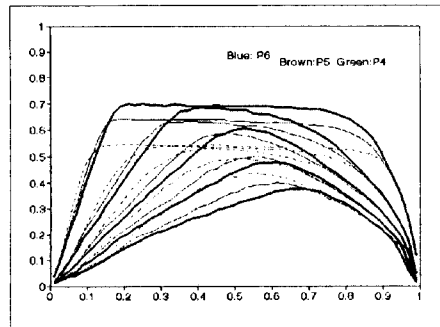


Fig.15 Pressure Ripple due to P_s change of 2 way valve

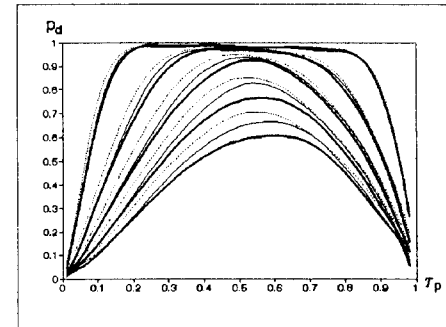


Fig.16 Pressure Ripple due to P_s change of 3 way valve