

유압주행모터의 변속시 발생하는 충격특성에 관한 연구 A Study on the Shock Characteristics in the Hydraulic Power Shifting System of the Hydraulic Travel Motor

이주성*, 이계복**
Joo-Seong Lee*, Kye-Bock Lee**

<Abstract>

Hydraulic power shifting systems of hydraulic travel motor may be far safer than mechanical power transmission systems. Thus, hydraulic power shifting systems are widely used for speed control on the hydraulic equipments. In the case of liquid shifting lines, the rapid change of area, such as valve closing, can result in a large pressure transient. It is necessary to assure proper control method in order to obtain the smallest shift shock. This study conducts the shock characteristics of hydraulic power shifting system of the hydraulic travel motor. Experimental results show that shock pressure depends on the operating pressure, flow rate and pipe line area. The shock characteristics can be applied for reducing shocks.

Key Words : *hydraulic travel motor, hydraulic equipment, speed control, shift shock*

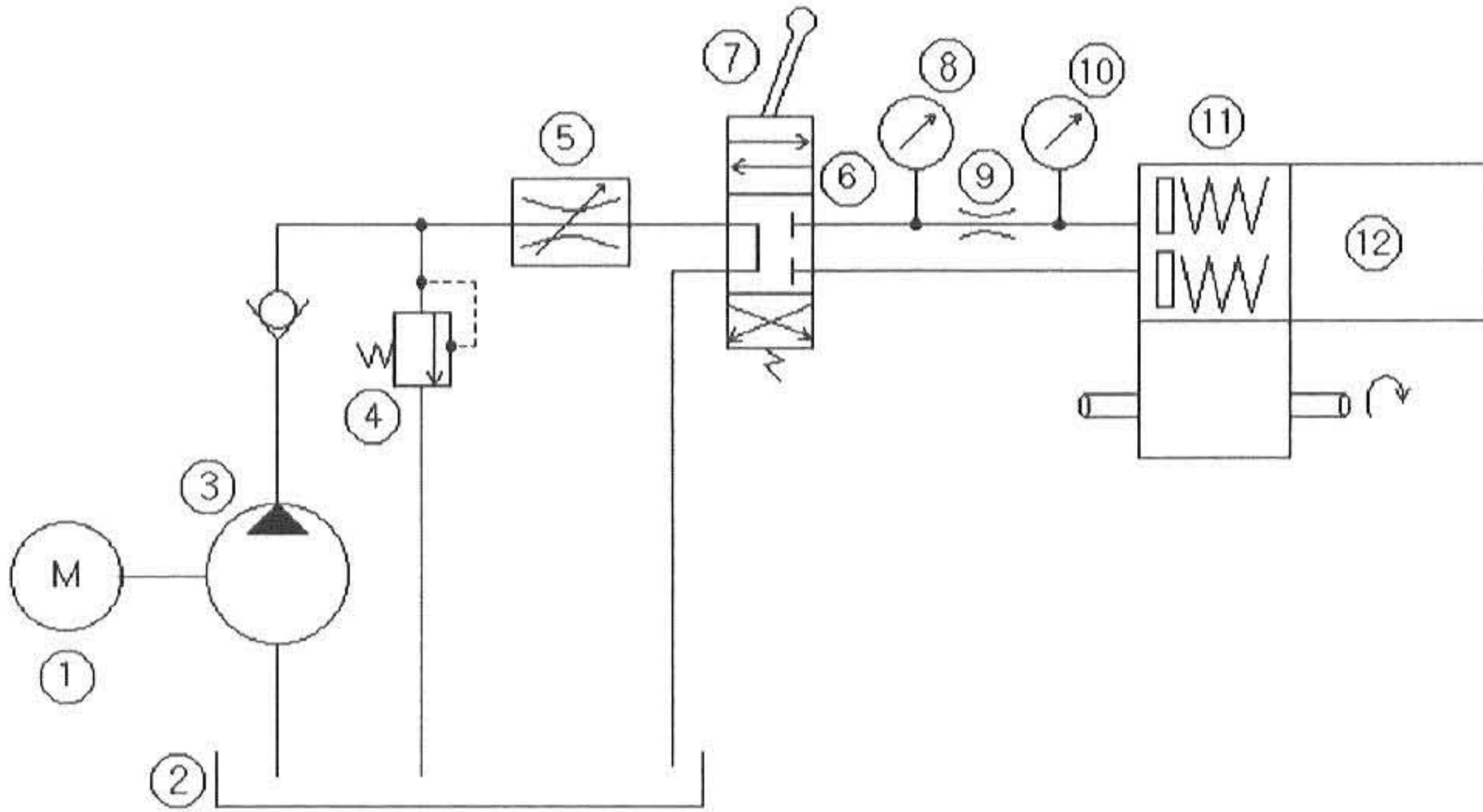
1. 서 론

유압모터로 주행하는 유압계통의 변속장치는 응답의 신뢰성과 안정성에 유리하고 기계식 변속장치 및 승용차의 자동변속장치와는 기본적으로 다르므로 변속의 유연성에 따른 변속충격의 최소화가 가능하여 변속작동시 안정감을 유지할 수 있기 때문에 유압주행 모터로 주행하는 기계장치들에서 많이 사용되며 장치의 고급화가 가능하다. 유압주행모터의 변속조작부는 클러치(clutch)와 함께 구성되며 유압배관은 밀폐형으로 볼 수 있다.¹⁾ 지금까지 유압배관 내를 흐르는 유체의 유동특성을 정량화 하는 연구는 많이 수행되어 왔으나²⁻³⁾ 이는 대부분 개방형 유

압계통에 기초한 것이므로 유압주행모터 변속장치의 유압계통 제어에는 그대로 적용하기 어렵다. 유압계통을 이용한 유압주행모터 변속장치의 제어는 그 유체 흐름의 단속조건에 따라 충격이 발생할 수 있으며 서지압력(surge pressure)발생에 따라 제어가 불확실하게 전개될 수도 있다.⁴⁻⁵⁾ 이를 방지하기 위해 배관의 단면적을 넓힐 경우 작동시 충격발생량의 상승으로 유압계통의 불안정을 초래할 수 있다. 반대로 배관의 단면적을 작게 할 경우 응답속도의 지연에 따라 초킹(chocking)현상 등이 발생하여 원하는 성능을 얻을 수 없는 문제점이 있다.⁶⁻⁷⁾ 이러한 사항들은 유압주행모터의 변속장치에 치명적인 영향을 줄 수 있으며 안정성은 물론 신뢰성을 크게 저하시킬

* 정회원, 충북대학교 대학원 기계공학과
361-771/충북 청주시 흥덕구 분평동 1366 주공604-604호
** 정회원, 충북대학교 기계공학부

Dept. of Mechanical Engineering, Chungbuk National University
Faculty, school. of Mechanical Engineering, Chungbuk National University



① Motor ② Oil tank ③ Hydraulic pump ④ Pressure control valve ⑤ Flow rate control valve
 ⑥ Directional control valve ⑦ Shifting lever ⑧ Pressure gauge(P₁) & flow rate gauge(Q₁)
 ⑨ Orifice ⑩ Pressure gauge(P₂) & flow rate gauge(Q₂) ⑪ clutch ⑫ Hydraulic travel motor

Fig. 1 Schematic diagram of experimental model

수 있다. 특히 변속초기에 발생하는 충격치의 과다현상 및 작동압력의 상승지연 현상은 유압계통과 변속 성능에 큰 영향을 줄 수 있으나 이에 대한 정량적인 연구결과는 보고된 것이 거의 없다. 독일의 Eymueller⁸⁾는 유압을 이용한 유압 주행모터 변속 장치의 최적 변속성능 설계를 위하여 디스크타입 클러치의 구동회로 단면적을 실험을 통해 결정하는 설계방법을 연구하였으며, 일본의 A.Ohhashi 등⁹⁾은 밀폐형으로 구성된 변속회로인 HST(hydrostatic transmission) 기술을 통해 펌프측 유량조절에 의한 변속방식을 연구하였다. 또 일본의 M.Uchida¹⁰⁾는 급격한 유압계통의 변속시 충격발생과 운전자의 승차감 저하에 대한 문제점을 유압주행모터(hydraulic travel motor)의 콘트롤 피스톤(control piston)으로 제어하는 연구를 수행하였다. 그러나 이 방법은 시행착오에 의한 수차의 실험에 의존해야 하며 설계방법을 체계화 하는데는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 유압주행모터의 변속장치 유압계통을 실험모델로 제작하여 디스크타입 클러치 배관회로의 직전과 직후에 배관 단면적을 변화시킬 수 있도록 오리피스를 장치하고, 범용되는 압력과 유량 범위 내에서 유압 주행모터 변속장치의 충격발생량 변화 특성을 실험을 통해 연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서 설계 제작한 유압주행모터 변속장치의 유압계통은 Fig. 1과 같이 구성되어 있다. 유압펌프에 의해 형성된 유압력은 유압제어밸브 및 유량제어밸브에 의해 실험값으로 조정된 후 방향제어밸브에 도달하게 된다. 변속레버의 조작에 따라 유압력은 변속장치 내부에 있는 클러치를 밀어 유압주행모터에 해당 부하가 걸리게 한다. 클러치의 이동은 아주 짧은 시간 내에 이루어지게 되며, 이때 유압유의 관성과 서지압력은 각 조건에 따라 회로 내에 충격을 발생시키게 된다.

2.2 적용이론

Fig. 2는 유압주행모터의 변속을 위한 클러치부의 작동 개념도이다. 변속장치 내의 유압유는 클러치를 행정만큼 밀어준 후 아주 짧은 시간 내에 정지하게 된다. 이때 작동유체 내에서의 음속은 밀도와 체적탄성계수의 함수로 된다.

$$C = \sqrt{\frac{\beta_e}{\rho}} \quad (1)$$

여기서 C는 음속, β_e 는 체적탄성계수 (kgf/cm²)이며 ρ 는 작동유체의 밀도이다. 변속클러치가 갑자기 정

지하는 순간에 작동유체의 운동에너지는 다음과 같다.

$$KE = \frac{\rho}{2} L_p A V_2^2 \quad (2)$$

또 압축된 유체에 주어지는 포텐셜에너지 PE는 다음과 같다.

$$PE = \frac{1}{2} \frac{L_p A}{\beta_e} P_{IS}^2 \quad (3)$$

여기서 L_p 는 유압배관의 길이, A 는 배관 단면적, V_2 는 작동유체의 속도, 그리고 P_{IS} 는 최대 압력상승값이다. 식 (2)와 (3)으로 부터 최대 압력상승값은 다음과 같이 얻어진다.

$$P_{IS} = \rho C V_2 \quad (4)$$

따라서 유압 주행모터의 변속시 충격발생량을 낮추기 위해서는, 일정 유량조건에서는 배관 단면적을 크게 하여 작동유체의 속도를 줄이거나 압력 또는 유량을 줄여야 한다. 유압계통에서 압력과 유량은 변속성능에 영향을 주므로 변경이 용이하지 않다. 식 (4)는 클러치가 순간적으로 정지되는 경우에 유효하므로 클러치가 순간적은 아니지만 짧은 시간 내에 정지하는 경우의 압력 충격발생량의 과도 특성에 대해서는 적용할 수 없다. 이런 경우 압력 충격발생량은 순간적으로 정지되는 경우에 비해 작지만 유압계통에 치명적인 손상을 줄 수 있으므로 정확한 예측이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 유압주행 변속장치의 유압계통에서 클러치가 순간적은 아니지만 짧은 시간에 멈추는 경우 발생하는 압력의 충격변화 특성을 분석하여 유압 주행모터의 변속성능을 위한 최적설계에 응용할 수 있는 충격특성을 연구한다. 이때 오리피스를 이용하여 배관 단면적에 변화를 주었으며 각 조건에 따라 실험을 통해 연구하였다.

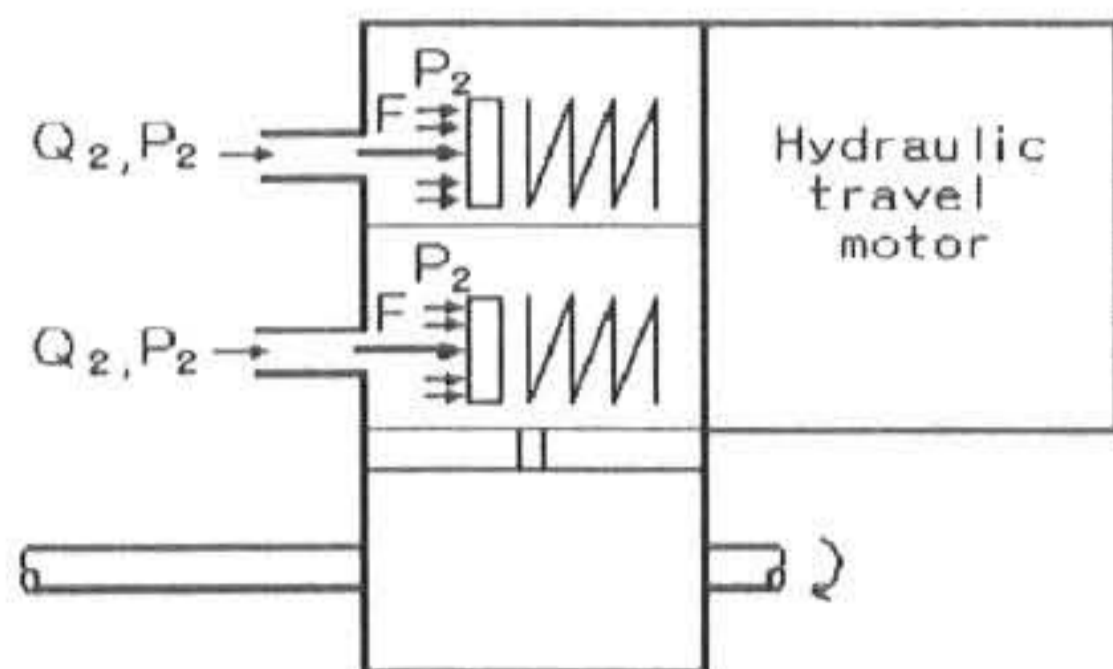


Fig. 2 General view of the hydraulic power shifting system with hydraulic travel motor

2.3 실험조건

변속장치의 유압계통은 일반적으로 널리 사용되는 유량과 압력범위, 그리고 오리피스와 유압배관의 직경비 범위 내로 설정하여 실험하였다. 실험조건은 다음과 같다.

- (1) 작동유의 압력은 20 bar에서 50 bar 범위로 한다.
- (2) 작동유의 유량은 20 ℓ/min에서 50 ℓ/min 범위로 한다.
- (3) 작동유체의 온도는 55℃ ±10%를 기준으로 한다.
- (4) 충격발생량 측정은 변속장치의 변속과정에서 측정한다.
- (5) 변속단수는 1→2단으로 하고 2→1단 경우는 그 동일여부만 측정한다.
- (6) 작동유체의 속도는 3~4 m/s 범위 내로 한다. 이를 위해 실험에서 유량을 증가시킬 때는 유압배관의 직경을 동시에 증대시켜, 모든 실험조건에서 유속이 항상 일정하게 유지되도록 한다.
- (7) 주위 온도는 실내온도로 한다.
- (8) 배관 면적의 변경을 위해 배관 내에 오리피스를 적용하고 이때 오리피스와 배관의 직경비(β)는 0.2에서 0.6까지 적용한다.
- (9) 적용한 오리피스는 폭 L 과 내경 D_0 의 비율이 $D_0 > L$ 인 조건으로 한다.
- (10) 배관 단면적은 유량 20~50 ℓ/min까지 유속이 동일하게 되도록 각각 제작하여 적용한다.

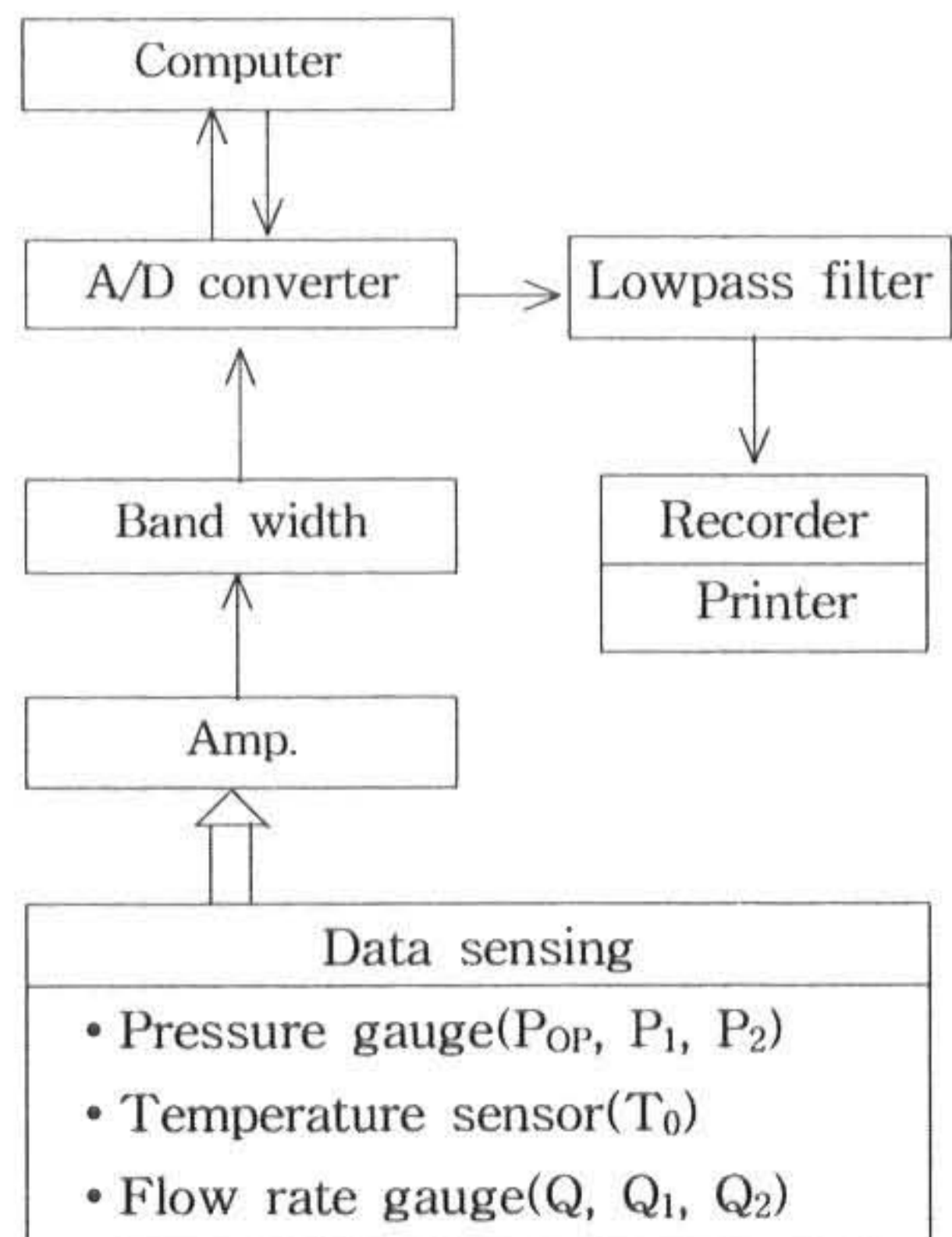


Fig.3 Schematic diagram of measurement system

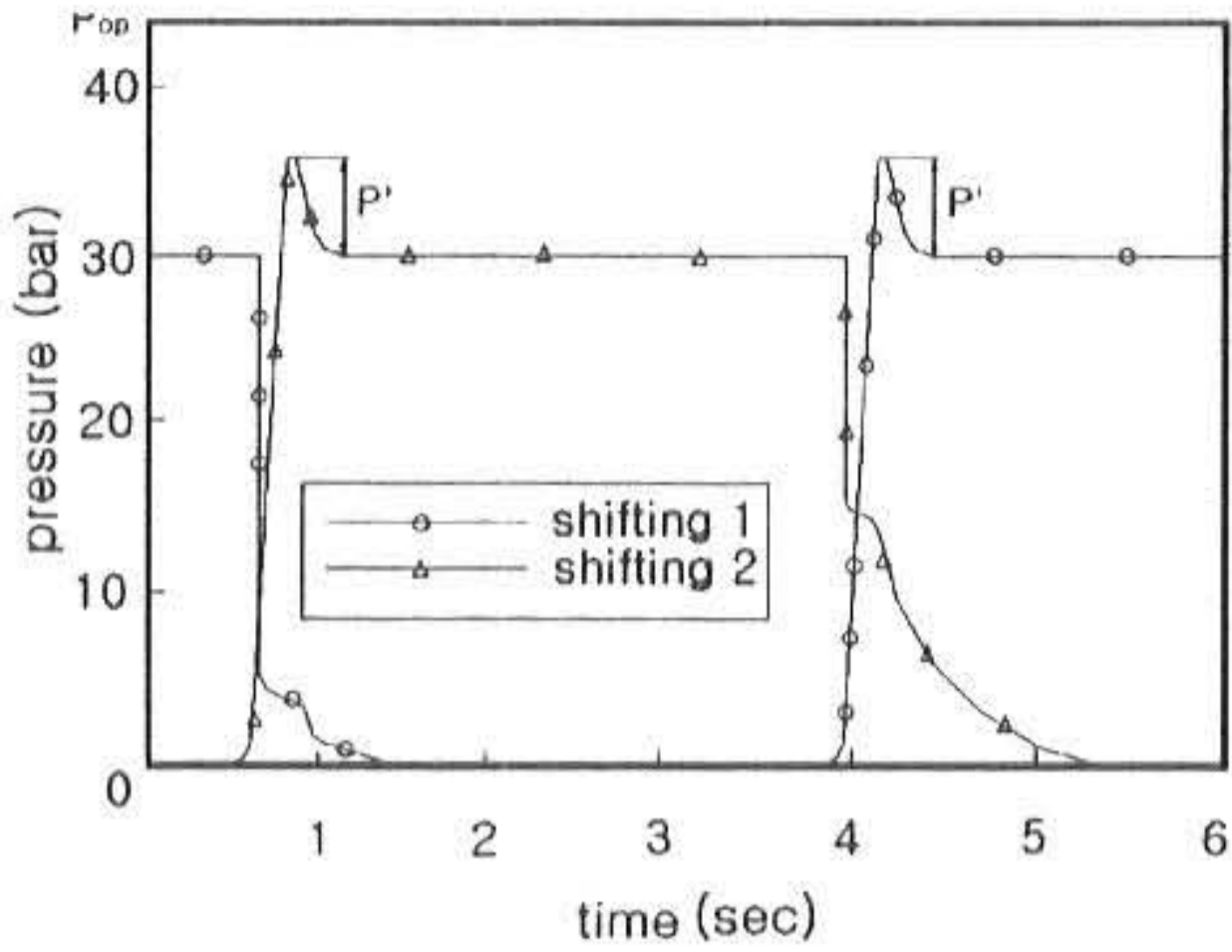


Fig.4 Typical pressure transient for hydraulic power shifting of the hydraulic travel motor

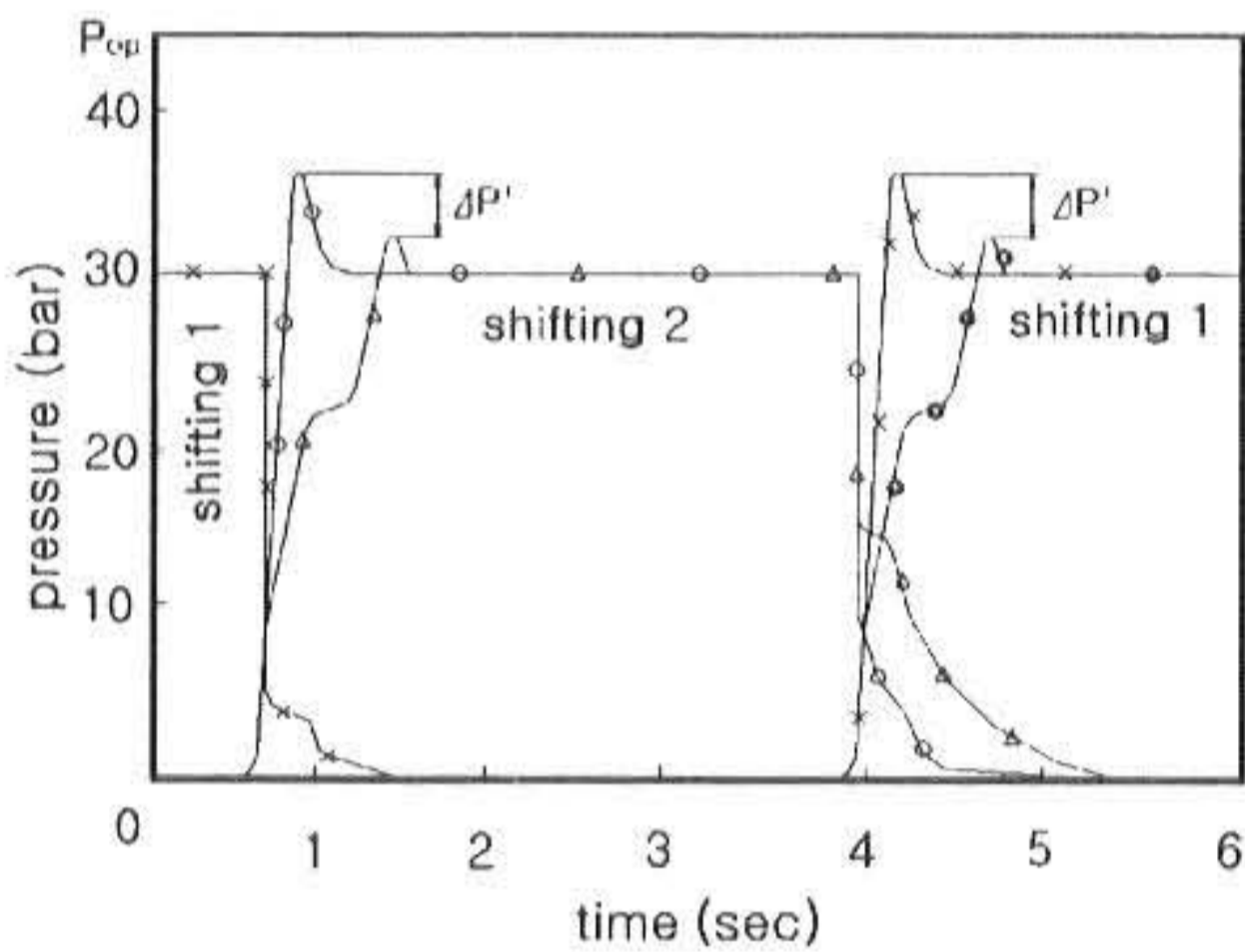


Fig.5 Typical pressure variation in hydraulic power shifting of hydraulic travel motor

2.4 실험 데이터 저장

Fig. 3은 실험순서에 따라 주어진 각각의 센서 또는 스위치에 의해 실험 데이터를 저장하는 측정시스템의 구성도이다.

본 연구에서는 유압 주행모터 변속장치의 작동으로 인해 발생하는 충격발생량과 오리피스 적용시 충격발생량 변화 특성을 측정하였다. 측정된 신호는 증폭된 후 A/D 변환기를 통해 컴퓨터에 저장되고 프린터로 출력되며 측정오차 범위는 $\pm 0.25\%$ 이다.¹¹⁻¹²⁾ 이때 압력계측기의 대역폭(band width)은 30 kHz이며 유량계는 기어방식을 적용하였다.¹³⁻¹⁵⁾

3. 실험결과 및 고찰

본 실험장치에서 유압력에 의해 변속을 실시할 경우 발생하는 압력변화는 유압배관 내에 오리피스를 적용하지 않았을 경우 Fig. 4와 같은 압력파형으로 나타난다. 여기서 ○는 1단 변속시 작동압력 변

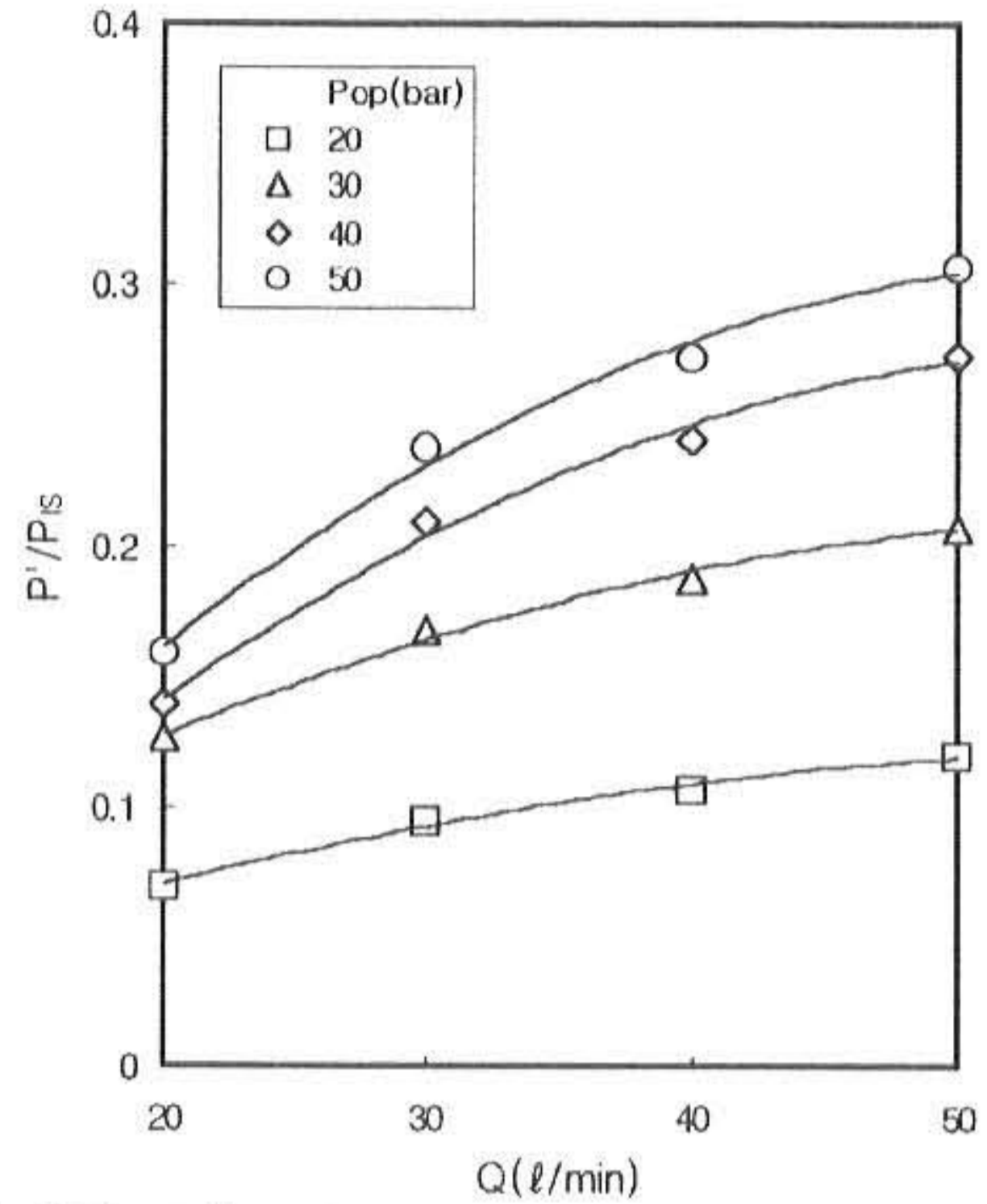


Fig.6 The P'/P_{is} -Q curves in orifice dia. ratio 0.6

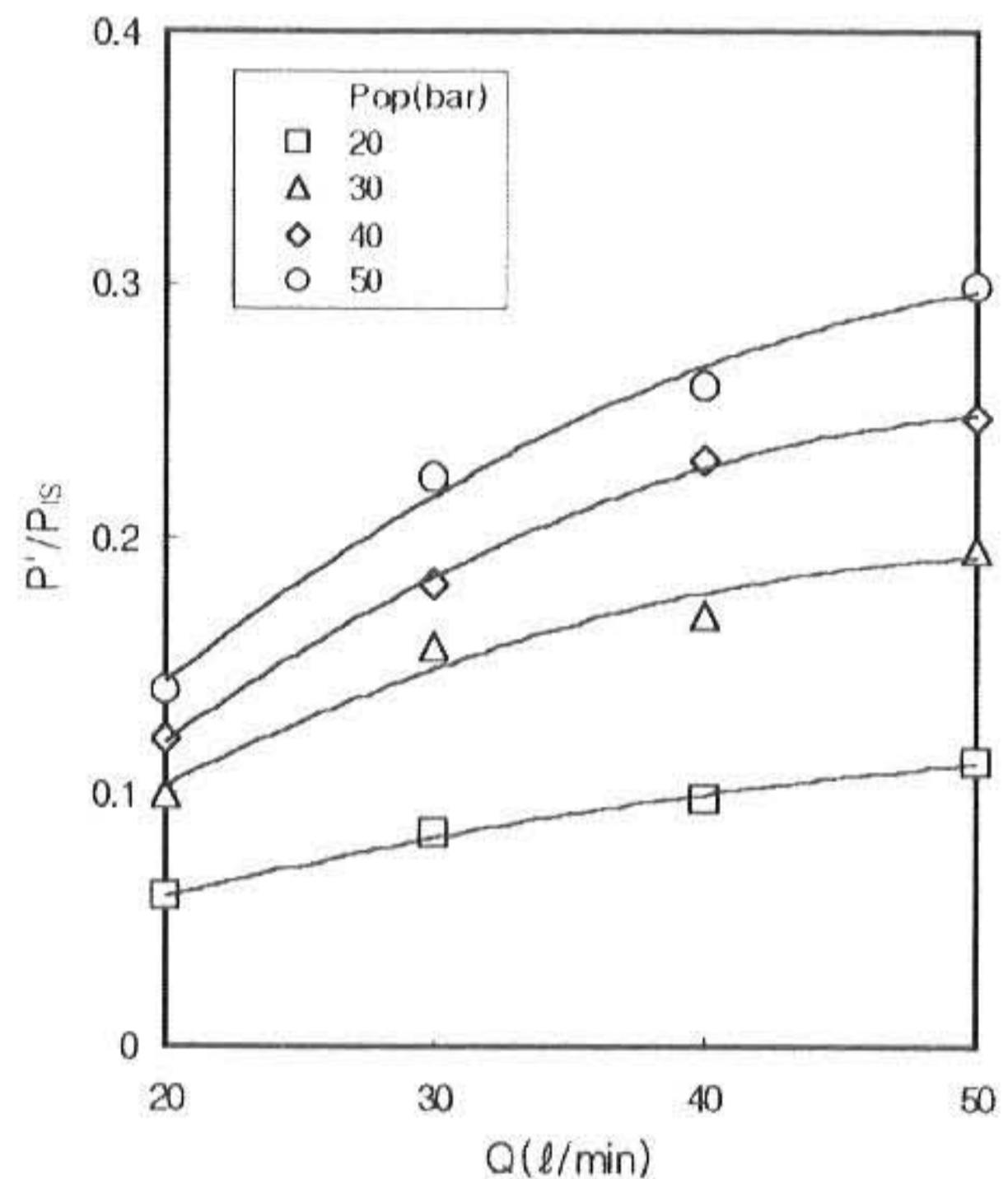


Fig.7 The P'/P_{is} -Q curves in orifice dia. ratio 0.4

화형태를 보여주며, △은 2단 변속시 작동압력 변화 형태를 보여주는 것이다. 이때 P_{OP} 는 작동압력이며 P' 는 변속시 충격발생량을 나타낸다. 이것은 압력, 유량, 유속 등의 작동조건에 따라 변하게 된다. 이러한 충격발생은 유압변속 장치의 성능에 지대한 영향을 주게된다. 따라서 압력배관의 단면적, 작동압력 및 유량을 각각 변화시켜 충격발생 변화특성의 상관 관계를 구하면 유압 주행모터의 최적 성능설계가 가능하게 된다.

Fig. 5는 오리피스를 이용하여 유압배관의 단면적

을 변화시킬 경우 유압변속시 충격발생량의 변화형태를 보여준다. 여기서 1단에서 2단으로 변속시 유압배관 내에 오리피스가 없을 경우 1단 작동압력을 나타내는 \times 는 0 bar로 떨어짐과 동시에 2단 작동압력을 나타내는 \circ 는 적용한 작동압력까지 급속한 상승을 하게 된다. 이때 오리피스를 이용하여 유압배관의 단면적을 변화시킨 후 변속할 경우 작동압력이 Δ 과 같은 형태로 나타나게 된다. 따라서 유압배관 내에 오리피스를 적용하지 않은 경우와 적용한 경우에 $\Delta P'$ 만큼의 충격발생량의 변화를 가져오게 된다.

실험에서 작동압력변화를 위해서는 릴리프 밸브를 적용하였고, 유량변화를 위해서는 유량제어밸브를 적용하였다.

3.1 압력별 유량변화시 변속실험 결과

Fig. 6~Fig. 8은 일반적으로 사용하는 작동압력범위 내에서 각 압력별로 유량변화시 충격발생량 변화값을 보여준다. 유압배관의 단면적을 변화시켜 유속이 유사한 조건에서 실험한 경우인 유량 20 l/min에서 50 l/min까지는 유량의 증가에 따라 변속시 충격발생량은 증가하며 작동압력이 높을수록 그 증가폭은 더 커지는 경향을 나타내었다.

3.2 유량별 압력변화시 변속실험 결과

Fig. 9~Fig. 11에서는 일반적으로 사용하는 작동유량범위 내에서 각 유량별로 압력변화시 충격발생량 변화값을 보여준다. 배관단면적을 변화시켜 유속이

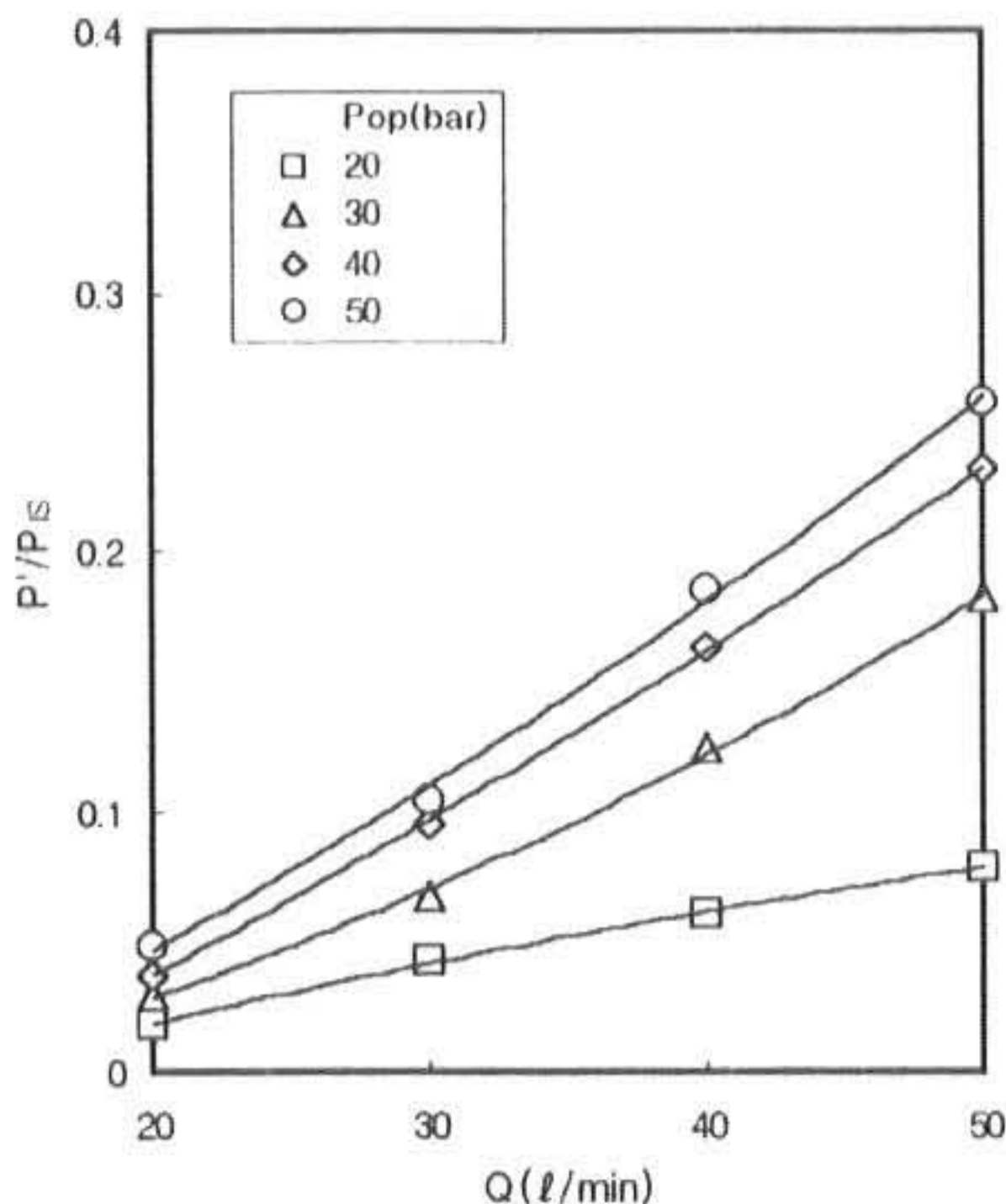


Fig.8 The P'/P_{1s} - Q curves in orifice dia. ratio 0.2

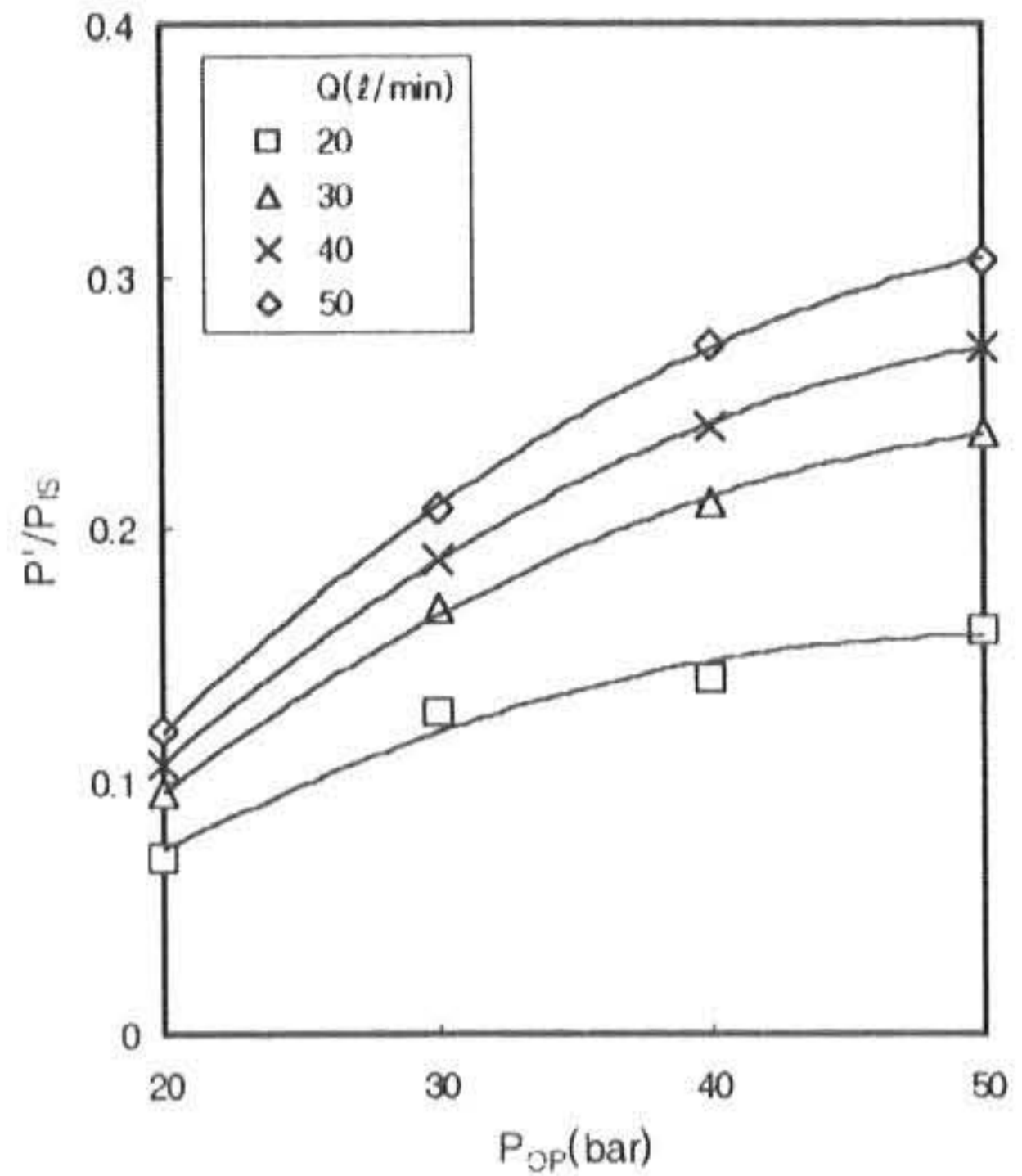


Fig.9 The P'/P_{1s} - P_{OP} curves in orifice dia. ratio 0.6

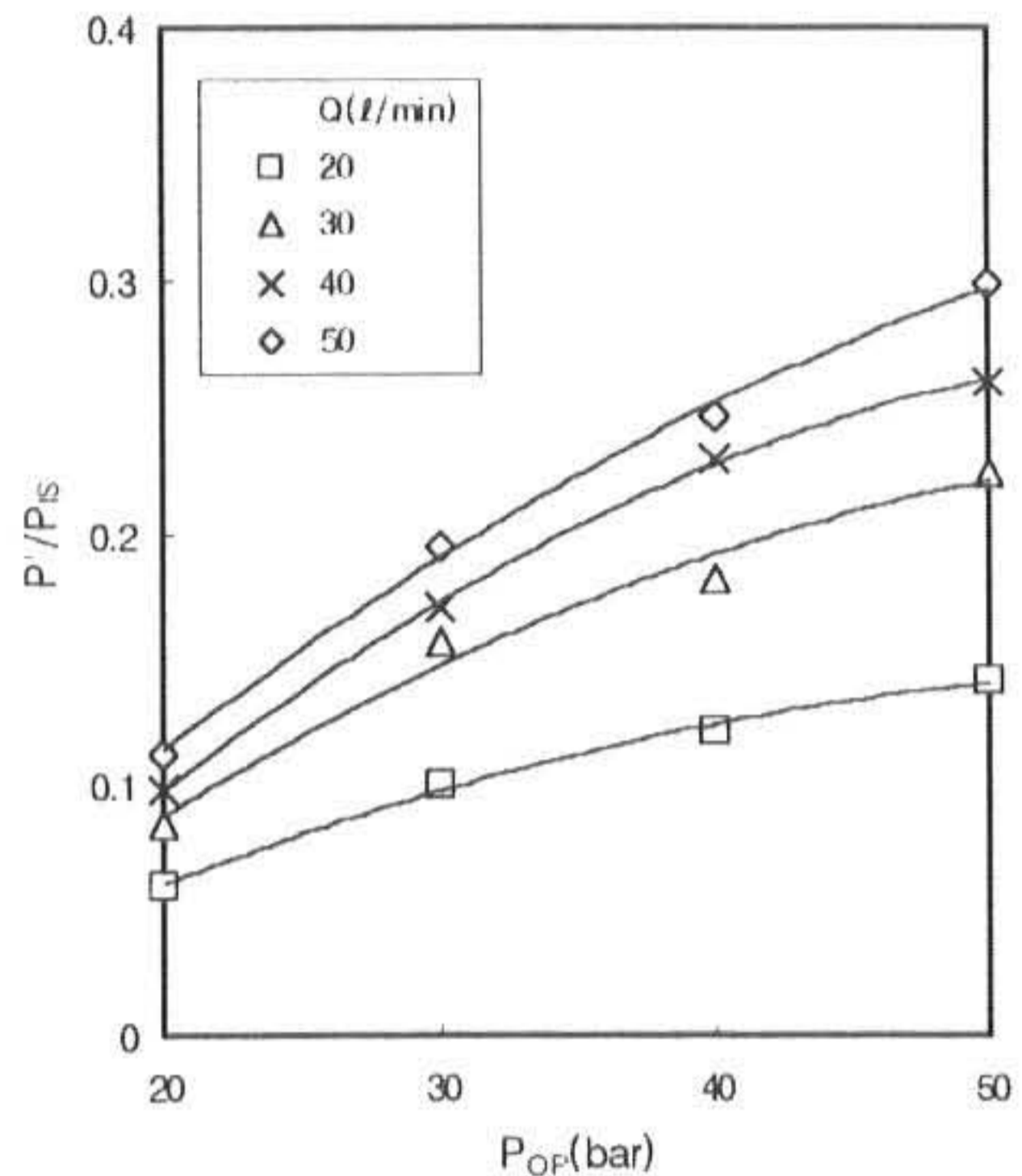


Fig.10 The P'/P_{1s} - P_{OP} curves in orifice dia. ratio 0.4

유사한 조건에서 실험한 경우인 압력 20 bar에서 50 bar까지의 경우 압력증가에 따라 변속시 충격발생량은 증가하며 작동유량이 많을수록 그 증가폭은 더 커지는 경향을 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 유압구동에 의해 작동되는 유압 주행모터의 변속시 충격발생량을 실험을 통해 측정하여, 충격발생량에 영향을 미치는 주요 인자를 도

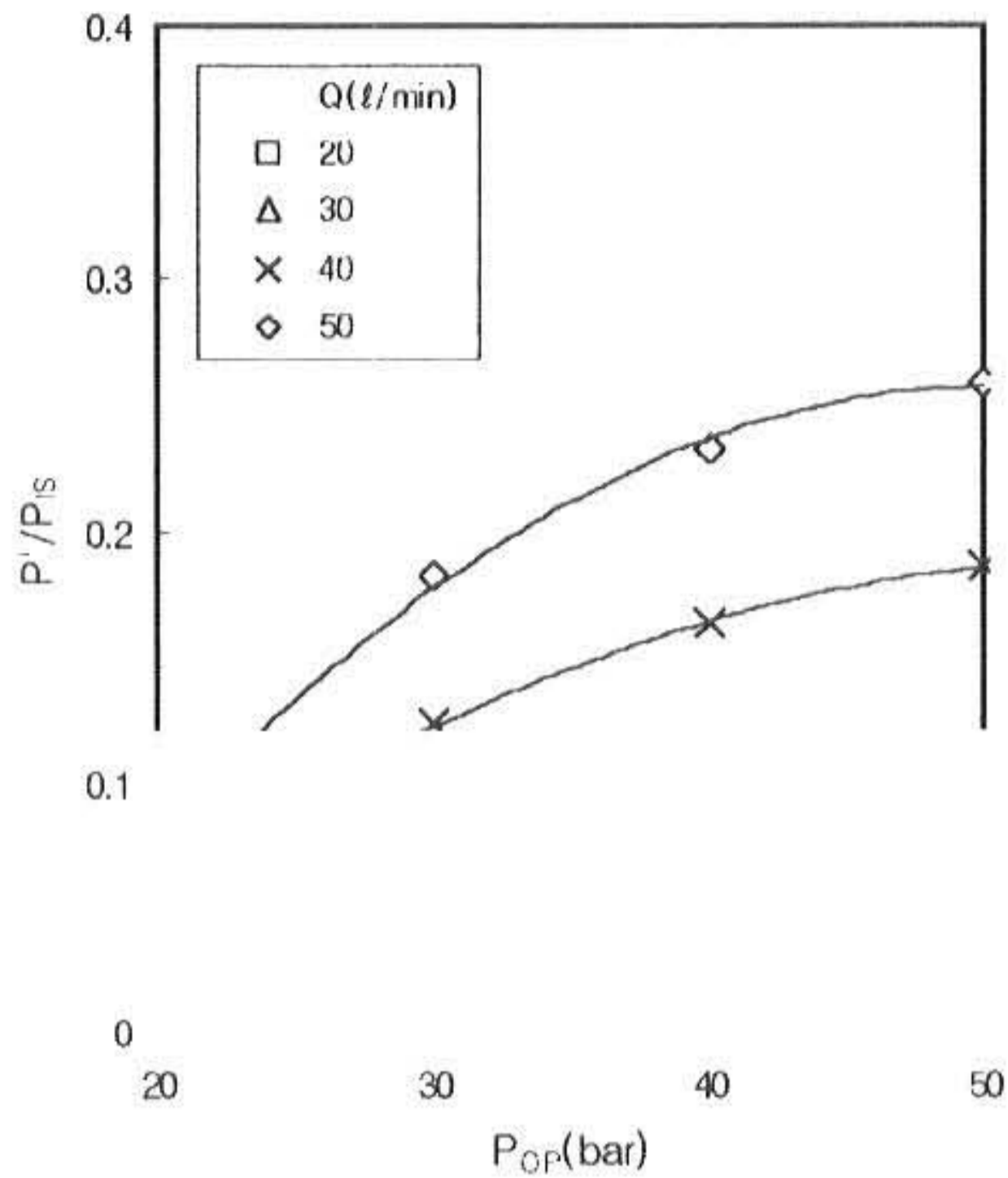


Fig.11 The $P'/P_{1s} - P_{Op}$ curves in orifice dia. ratio 0.2

출하고, 각 인자에 따른 변화특성을 분석하였다. 이때 유속은 범용되는 범위로 동일하게 적용하기 위하여 실험에서 유량을 증가시킬 때는 유압배관의 단면적을 변화시켜 유속이 항상 일정하게 유지되도록 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 유압변속시 유속이 동일한 경우 유량증가에 따라 충격발생량은 증가하는 특성을 나타내었다.
2. 변속회로 내의 유속이 동일한 경우 작동압력의 증가에 따라 충격발생량은 증가하는 특성을 나타내었다.
3. 유압주행모터 변속장치의 변속시 유량증가에 따른 충격발생량은 작동압력이 높은 경우일수록 그 증가폭이 크게 나타났다.
4. 오리피스와 같은 유체기구를 사용하여 유압주행모터 변속장치의 변속시 발생하는 충격발생량을 제어할 수 있음을 확인하였다.
5. 유압주행모터 변속장치의 변속시 압력증가에 따른 충격발생량은 작동유량이 많은 경우일수록 그 증가폭이 크게 나타났다.
6. 유압주행모터 변속장치의 충격발생량 변화특성을 각 인자별로 분석함으로써, 유압주행모터 변속시스템의 변속시 발생하는 충격치의 제어에 응용할 수 있다.

참고문헌

- 1) Banks, D. D. and Banks, D. S.: Industrial Hydraulic Systems, Prentice Hall, pp.128-132, (1988)
- 2) Wylie, E. B. and Streeter, V. L.: Fluid Transient in Systems, Prentice Hall, pp.37-79, (1993)
- 3) Wiggert, D. C. and Sundquist, M. J.: The Effect of Gaseous Cavitation on Fluid Transients, J. Fluids Engineering, ASME Transactions, 101, pp.79-86, (1979)
- 4) McCloy, D. and Martin, H. R.: The Control of Fluid Power, Longman Group LTD., pp.99-116, (1973)
- 5) Reeves, W. W.: Technology of Fluid Power, Delmar Publishers, pp.261-264, (1997)
- 6) Goodwin, A. B.: Fluid Power Systems, The Macmillan Press LTD., pp.1-14, (1976)
- 7) 汁 茂: 油壓裝置設計の實際, たいが出版, pp.85-140, (1998)
- 8) Eymueller: Presentation for T/M Products, Zahnradfabrik, pp.5-20, (1993)
- 9) Ohhashi, A.: HSTの制御技術, Vol.29 No.1, 日刊工業新聞社, pp.18-22, (1996)
- 10) Uchida, M.: HSTの高壓・高速化, Vol.29 No.1, 日刊工業新聞社, pp.29-35, (1996)
- 11) Reed, E. W. and Larman, I. S.: Fluid Power with Microprocessor Control, Prentice Hall, pp. 132-167, (1985)
- 12) Hydro Technik: Operation Manual-Measuring Instruments, Hydro Technik, pp.1-81, (1989)
- 13) 이주성, 이계복: 오리피스를 이용한 유압액추에이터의 충격치 제어특성에 관한 실험적 연구, 대한기계학회논문집 B권, 제24권, 제11호, pp.1506-1512, (2000)
- 14) 이주성, 이계복, 이충구: 유압 브레이크 시스템의 과도맥동압력 제어특성에 관한 실험적 연구, 한국산업융학회지, 제4권, 제1호, pp.21-26, (2001)
- 15) J. S. Lee and K. B. Lee: An Experimental Study on the Control of Pressure Transients Using an Orifice, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol.78/5, pp.337-341, (2001)

(2001년 5월 3일 접수, 2001년 8월 22일 채택)