

# 파일럿 비례압력제어밸브의 정특성 및 동특성에 관한 실험적 분석

## Experimental Analysis of the Static and Dynamic Characteristics for a Pilot Proportional Pressure Control Valve

정헌술 · 남지우

H. S. Jeong and J. W. Nam

접수일: 2011년 7월 22일, 수정일: 2011년 9월 28일, 게재확정일: 2011년 9월 29일

**Key Words** : Static characteristics (정특성), Dynamic characteristics (동특성), Hysteresis (히스테리시스), Proportional pressure control valve (비례압력제어밸브)

**Abstract:** Because of the increasing demand on the high precision and high response of a machinery, proportional control valves are widely adopted at various application fields. This paper studies on the static and dynamic characteristics of a pilot proportional pressure control valve. An experimental apparatus including hydraulic pump, variable speed inverter, pressure and flow sensors and data acquisition system was set up. And various experiments such as P-Q-V curves, step responses due to input voltage and flow rate, hysteresis, frequency response of the proportional valve was carried out and the results are discussed.

### 1. 서 론

각종 장치의 고정밀화 및 고응답성에 대한 요구의 증가로 인한 전자식 비례제어밸브의 수요 증대와 제어방식의 전자화에도 불구하고, 비례제어 밸브 설계 제조 기술의 미확보로 인해 수입의존도가 지속적으로 증가하고 선진업체의 지배적 시장구조가 고착화 될 우려가 있어 기술자립화가 필요한 상황이다.<sup>1)</sup>

비례제어밸브는 입력 전류신호에 비례한 압력이나 유량을 연속적으로 조절할 수 있고, 직선성이 좋고 조작성이 우수하여 원격제어에 응용할 수 있다. 한편, On/Off 솔레노이드밸브에 의한 유압실린더나 모터의 속도나 방향을 조절할 때 서지 압력과 소음 진동이 수반되는데 비해, 비례 솔레노이드밸브를 사용한 회로는 이러한 단점이 없어 무충격 가감속 제어를 할 수 있으며, 개폐식 솔레노이드 밸브를 사용한 유압회로에 비해 회로 자체를 대폭 간략화 할 수 있기 때문에 시스템의 원가 절감을 도모할 수 있는 등 많은 장점을 지니고 있다. 따라서 국내에서는 동차, 공작기계, 전기제어장치, 화학·의학용 기기 등 민수 분야는 물론이고, 국방 및 항공우주 산업 분야에서

널리 쓰이는 비례압력제어밸브의 개선 및 개발에 대한 많은 선행연구가 이루어졌으며, 현재는 국내 기술 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

관련 연구동향을 살펴보면, 권수종 등의 선행연구자들은 유압 프레스에 적용되는 솔레노이드 밸브의 손상, 소음 및 제어 정확도의 한계라는 문제점을 해결하기 위하여 유압 프레스 시스템에 비례제어 압력 릴리프 밸브를 적용시켜 AMESim을 이용한 시뮬레이션 모델을 구축하였으며, 압력시뮬레이션 결과와 실험 결과의 비교를 통하여 압력 시뮬레이션 모델의 유용성을 확인하는 연구를 진행하였다.<sup>2)</sup>

윤소남 등의 선행연구자들은 비례압력제어밸브의 국내 고유 모델개발을 위해 특성방정식을 이용한 밸브 시스템의 동특성 해석 및 유한요소법에 의한 전자장 특성해석을 통하여 비례압력제어밸브 모델을 제안하였으며, 실험결과 비교를 통하여 해석 모델의 타당성 및 시험장치의 신뢰성을 확보하였다.<sup>3)</sup>

김형만 등의 선행연구자들은 대부분의 자동차에 쓰이는 펄스폭 변조방식의 밸브는 구조가 복잡하고 맥동으로 인한 변속충격이 발생하는 문제점이 있으므로 이에 대한 해결방안으로 비례제어방식 솔레노이드 밸브를 제안하기 위하여, 밸브의 압력제어특성 실험을 진행하고 전산유체해석 프로그램 CFD-ACE를 이용하여 압력제어특성에 대한 동적 수치해석을 수행 후 실험결과와 비교 분석하였다.<sup>4)</sup>

정헌술(교신저자): 군산대학교 기계자동차공학부  
E-mail: hsjeong@kunsan.ac.kr, Tel: 011-680-7147  
남지우: 군산대학교 기계자동차공학부 대학원

오인호 등의 선행연구자들은 4륜 조향 장치용 비례압력제어밸브 개발에 필요한 자료 확보를 위하여 밸브의 설계시 매개변수가 장치의 안전성과 응답특성에 미치는 영향을 파악하는 방법으로 후륜 조향장치에 대하여 수학적 모델을 구축하였으며, 모델의 특성을 분석할 수 있는 수치 계산 프로그램 개발하고 모델의 타당성 및 유용성의 검증을 위한 밸브의 정적특성과 동특성 실험을 진행하였다.<sup>5)</sup>

본 연구는 국외 선진 업체에서 개발한 비례압력제어밸브 성능을 넘어서기 위한 국내의 비례압력제어밸브 기술 개발로, 2008년부터 진행된 다단식 고응답 비례압력밸브 해석 및 제어기술 개발<sup>6)</sup>로써, 개발대상인 비례압력제어밸브에 대한 유압 실험장치를 구성하고 그에 따른 정적 및 동적 특성을 파악하는 실험을 진행하여 추후에 개발대상인 비례압력제어밸브의 성능향상을 위한 기초 자료로 사용할 것이다.

## 2. 비례압력제어밸브의 구조

개발대상인 비례압력제어밸브는 Fig. 1과 같이 파일럿(pilot) 비례압력제어밸브와 주(main) 압력제어밸브로 구성되며, 밸브의 설정압력은 비례앰프(proportional amplifier)에 의해 조절된다. 파일럿 밸브는 일반적으로 1단 밸브 그리고 주 밸브는 2단 밸브라고도 불리며, 본 연구에서는 파일럿 밸브의 압력제어 특성에 집중해 실험적 분석을 수행하였다.

비례압력제어밸브 상단의 파일럿 밸브는 크게 Fig. 2의 우측에 부착된 안전밸브(safety valve)와 나머지 비례압력릴리프밸브로 구성되며, 압력릴리프 밸브는 다시 압력조절용 원추형 포켓(poppet), 스프링, 코어 및 베어링 그리고 비례 솔레노이드 등으로 구성된다.

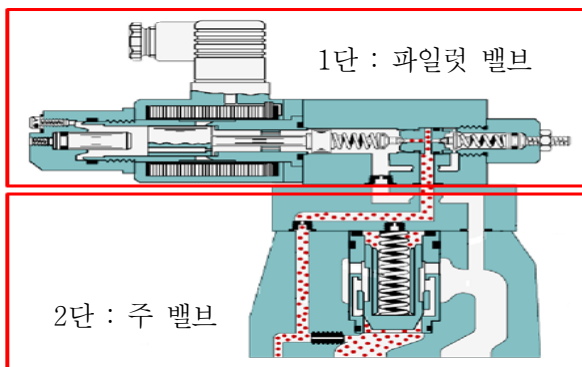


Fig. 1 Multi-stage proportional pressure control relief valve

여기서 안전밸브는, 비례압력제어밸브가 유압회로에 적용되어 운영되는 상황에서 비정상적인 고압이 발생할 경우, 회로와 비례밸브의 안전을 위해 최고압력을 제한하는 기능을 한다. 본 논문에서는 지면 관계상 안전밸브의 특성분석<sup>6)</sup>은 생략하였다.

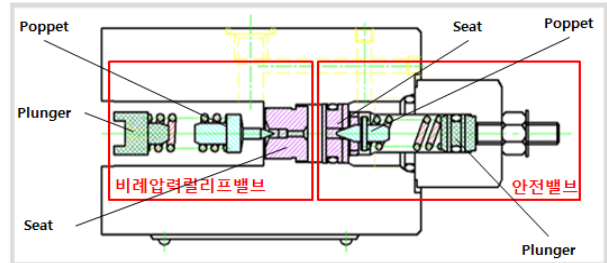


Fig. 2 Detail of the pilot pressure relief valve

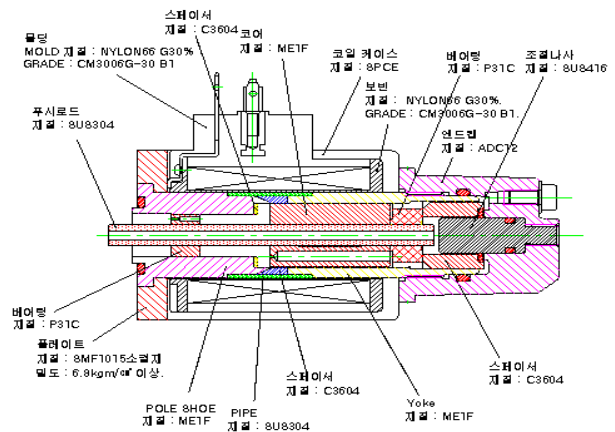


Fig. 3 Detail of the proportional solenoid

한편, 압력릴리프밸브와 비례 솔레노이드 부분의 상세 구조를 보면, 각각 Fig. 2 및 Fig. 3과 같으며, Fig. 3의 비례 솔레노이드는 비례앰프를 통한 설정 전압에 따라 제어되어, Fig. 2의 좌측에 부착된 비례압력릴리프밸브의 Plunger에 비례 솔레노이드의 자화된 힘을 가함에 따라 전자적으로 압력을 제어하는 역할을 담당한다.

## 3. 비례압력제어밸브 특성실험장치 구성

비례압력제어밸브의 특성을 분석하기 위해 Fig. 4 및 Fig. 5와 같은 실험장치를 구성하였다.

유압동력을 제공하는 피스톤펌프는 3상 유도전동기로 구동되며, 전동기 즉 유압펌프의 회전속도는 인버터(inverter)로 조절할 수 있도록 구성하였다. 유압펌프에 의해 실험대상 비례밸브로 공급되는 압력은, 펌프 출구에 설치된 압력릴리프밸브를 통하여 설정

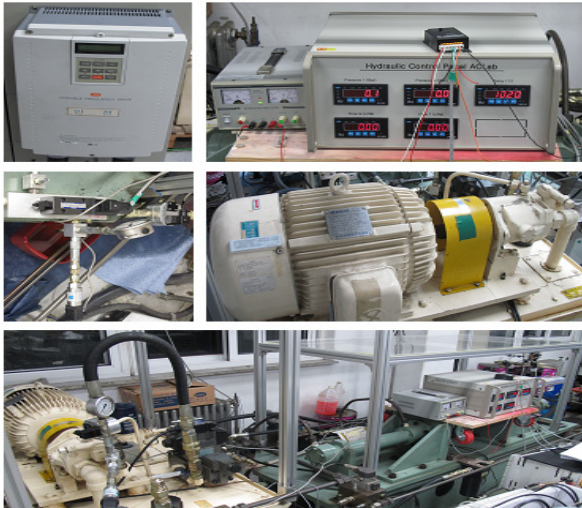


Fig. 4 Photo of the experimental apparatus

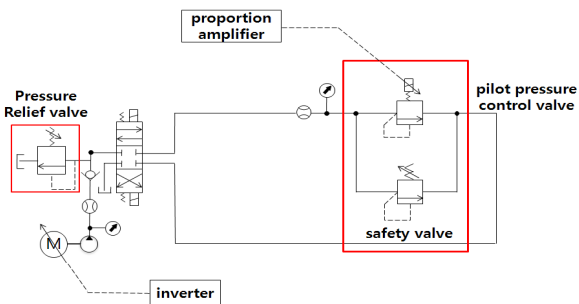


Fig. 5 Circuit diagram for experiments

Table 1 Detail spec. of the experiment devices

장비명	제조사, 품명, 사양
Hyd. pump	VICKERS, PVB10, Max. speed 1800r/min Max. pressure 210bar, 배제용적 21cc/rev
Elec. motor	효성중공업, SMD0756 1750r/min, 20HP, 프레임 160l, 4Pole, 60Hz
Inverter	LS Industrial system, SV008iS5-2 3Phase AC 200-230V 5A, 운전 주파수 0-400Hz
Relief valve	Tokimec, TCG20-03-FV 최고 사용 압력 210bar, 최대유량 80l/min
Proportional valve	세원셀론텍, EDG-01V-H-1-PNT11-51 최고 사용 압력 24.5Mpa, 정격유량 2l/min
Proportional amp	세원셀론텍, AMN-D-10 입력전류 DC 0~10V, 소비전력25W, 출력전류 1A
압력센서	Druck, PMP 1400, 250bar, output 0V~5V(DC)
유량센서	VSE, 1GPO12V, 0.05~80l/min, DC 24V
Indicator	PARK ELEC. SCI-501(압력 측정용) 사용전원 AC 220V 60Hz, 입력·출력신호 DC 0~10V,
	PARK ELEC. TMI-101(온도 측정용) 사용전원 AC 220V 60Hz, 입력신호 PT 100Ω, 출력신호 DC 0~10V
	PARK ELEC. LPI-8522(유량 측정용) 사용전원 AC 220V 60Hz, 입력신호 0~50kHz, 출력신호 DC 0~10V
DAQ board	National instrument, DAQ card, 6024E

한다. 펌프 출구와 비례압력제어밸브 입구에 각각 유량과 압력 측정용 센서가 설치되어, 센서 출력신호는 각각 지시계(indicator)를 통해 수치로 표시되며, 지시계의 출력신호는 다시 데이터 획득장치(DAQ board) 및 데이터 수집 터미널(terminal)을 통하여 컴퓨터에서 실시간으로 측정 저장된다.

한편, 비례압력제어밸브의 압력 설정은 전용 앰프(amplifier)를 통하여 공급 유량은 유압펌프 즉 유도전동기의 회전속도를 인버터로 조절함으로써 각각 설정하며, 앰프와 인버터는 모두 컴퓨터에 장착된 데이터 획득장치에 의해 실시간으로 제어된다. 실험에 사용된 각 장비의 세부 사양은 Table 1과 같다.

#### 4. 유압펌프 저속운전 특성 실험

실험장치의 유압펌프 정격속도는 1800r/min인 반면, 비례압력제어밸브의 정격유량에 해당하는 펌프 회전속도는 120r/min으로서 매우 낮다. 따라서 비례밸브에 유량을 공급하는 펌프의 저속 운전특성을 파악하기 위해, 비례압력제어밸브와 펌프의 연결부를 차단한 상태에서 릴리프밸브로 펌프 압력을 조정하고 인버터로 펌프속도를 조절하여 펌프 압력 및 유량을 측정된 결과는 Fig. 6과 같다.

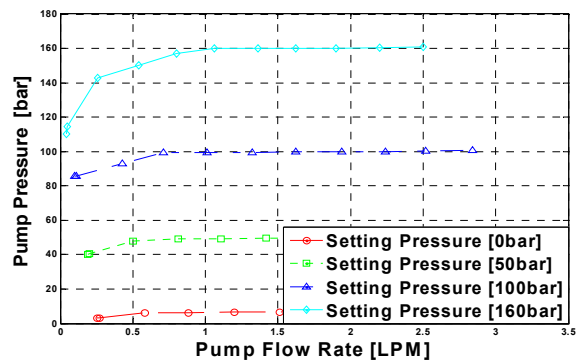


Fig. 6 Pump Flow Rate vs Pump Pressure

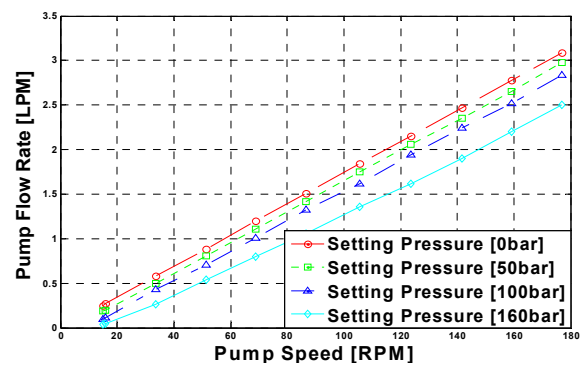


Fig. 7 Pump Speed vs Pump Flow rate

Fig. 6의 펌프 유량-펌프 압력 특성곡선을 보면, 펌프 유량이 어느 정도 이상에서는 릴리프밸브의 설정 압력에 따라 펌프압력이 형성되지만, 적은 유량 구간에서는 펌프 공급압력이 밸브 설정압력보다 낮게 형성됨을 볼 수 있는데, 이는 유압펌프 고유의 특성이 아니라, 실험장치에 사용된 압력 릴리프밸브의 특성에 기인한 것으로 파악된다.

한편, 펌프 설정압력에 따른 펌프 회전속도-펌프 유량 특성곡선은 Fig. 7과 같다. 위 그래프에서 인버터 속도지령 전압을 0V로 인가한 경우의 속도는 20 r/min 정도로서, 이는 인버터로 조절 가능한 최소 유량에 하한선이 있다는 것을 보여준다. 전반적으로 펌프 유량은 회전속도에 비례하며, 릴리프밸브의 설정압력이 증가함에 따라 펌프 출력 유량이 상당히 감소함을 볼 수 있다. Fig. 7의 특성곡선에서 기울기는 “펌프유량(l/min)/펌프속도(r/min)”로서, 이는 유압펌프의 실제 배제용적이며, 설정압력에 따라 배제용적을 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2 Actual displacement of the hyd. pump

설정압력	0bar	50bar	100bar	160bar
배제용적 [cc/rev]	17.5	17.1	16.6	15.4

Table 2에 따라 설정압력의 증가에 따른 배제용적의 감소는 펌프 내부 누설유량의 증가를 의미하므로, 펌프의 저속 운전 구간에서는 설정압력이 누설유량에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

### 5. 비례압력제어밸브 정특성 실험

#### 5.1 밸브 입력전압-설정압력 특성 실험

비례밸브 입력전압에 따른 압력제어 특성을 파악하기 위해, 먼저 릴리프밸브의 설정압력( $P_R$ )은 실험장치에서 구현 가능한 최대 압력으로 설정하고 펌프 공급유량은 비례밸브의 정격유량인 2l/min으로 유지하도록 펌프 속도를 설정하였다. 그 후 밸브 인가 전압을 0V에서 10V까지 단계별로 상승시키면서, 형성된 압력과 밸브 통과유량을 기록한 결과는 Fig. 8과 같다. 그리고 Fig. 8에서, 각 단계별 입력전압의 과도응답을 제외한 부분의 평균압력을 구한 정특성 선도는 Fig. 9와 같다.

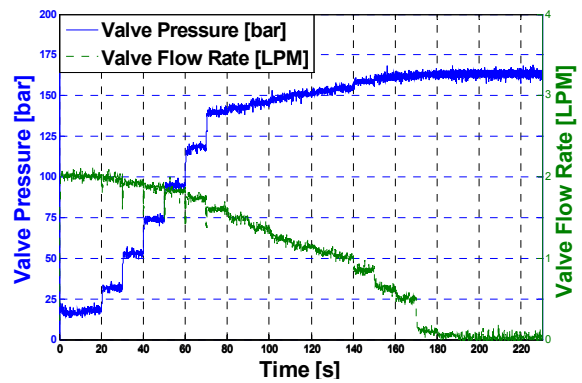


Fig. 8 Time vs Valve Pressure ( $P_R=160bar$ )

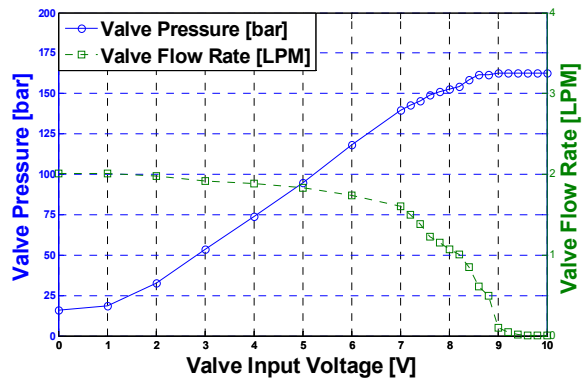


Fig. 9 Input Voltage vs Pressure ( $P_R=160bar$ )

Fig. 9로부터, 2V~7V 구간에서 우수한 선형성을 보이며 그 이상과 이하 구간에서는 비선형성 및 포화현상을 나타냄을 볼 수 있는데, 이는 밸브에 적용된 비례 솔레노이드의 입력전류-변위-자기력 특성에 기인한 것으로 파악된다. 밸브 통과 유량을 관찰해보면, 2V 이상의 전압 구간에서 공급유량은 점차 작아져 9V 이상의 구간에서는 공급유량이 0이 되는데, 이는 릴리프밸브의 설정압력( $P_R$ )에 따라 공급유량이 탱크로 유출되는 것으로 판단된다.

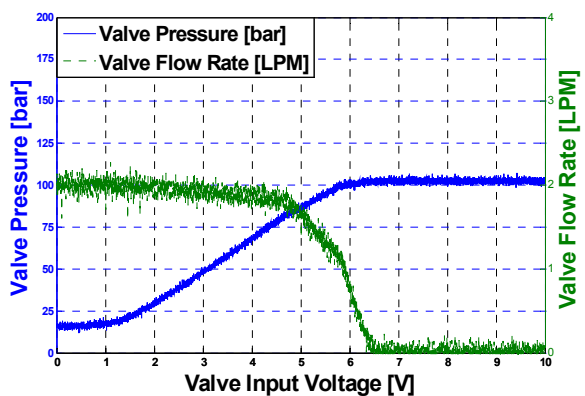


Fig. 10 Input Voltage vs Pressure ( $P_R=100bar$ )

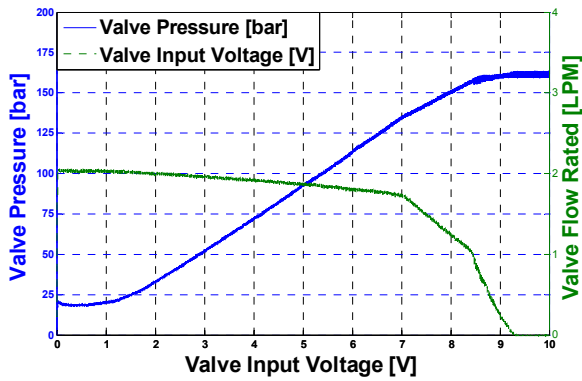


Fig. 11 Input Voltage Trajectory vs Pressure

한편, 0V에서 10V까지 비례밸브 입력전압을 200초 동안 선형적으로 상승시켜 가면서 형성된 압력과 밸브 통과유량의 궤적을 밸브 인가전압에 대해 그려보면 Fig. 11과 같다. 이 그림과 비례밸브의 정특성을 표시한 Fig. 9를 비교해 보면 두 특성곡선이 거의 동일함을 발견할 수 있다. 이는 인가전압의 상승시간이 비례밸브의 과도응답 시간에 비해 훨씬 크기 때문에 나타나는 현상으로 파악되며, 따라서 주기가 과도응답의 평균시간보다 600배 이상 긴 경우의 준정적(quasi-static) 특성곡선은 비례밸브의 정적특성을 대표한다고 할 수 있다.

한편, 압력릴리프밸브로 실험장치의 압력( $P_R$ )을 다르게 설정한 경우(Fig. 10) 비례밸브 입력전압-설정압력 특성을 실험한 결과, Fig. 9와 거의 동일한 형태의 곡선을 보였으며, 약간 다른 점은 입력전압에 따른 압력 변화의 폭이 적게 나타난다는 것을 확인할 수 있었다.

### 5.2 밸브 통과유량-설정압력 특성 실험

압력릴리프밸브로 시스템 압력을 160bar로 설정하고 비례밸브 인가전압을 0V, 2V, 4V, 6V, 8V, 10V로 각각 일정하게 유지한 상태에서, 펌프의 회전속도를 선형적으로 증가시키므로써 비례밸브의 통과유량을 0l/min~2l/min까지 증가시켰을 때 형성되는 압력 특성은 Fig. 12와 같다.

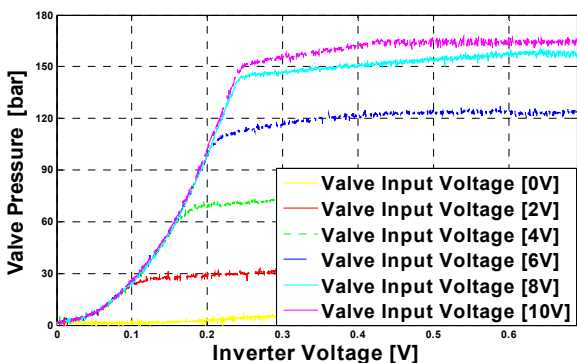


Fig. 12 Flow Rate vs Pressure ( $P_R=160bar$ )

위 그림에서, 비례밸브 인가전압이 일정하더라도 밸브 통과유량이 증가함에 따라 형성되는 압력이 그에 따라 증가하는 압력 오버라이드(pressure override) 현상을 볼 수 있는데, 이는 압력제어밸브에서 발견되는 공통적인 현상으로 압력제어밸브의 압력제어 성능을 좌우하는 지표중의 하나이다.

한편, 공급유량이 낮은 부분의 포물선 형상의 그래프 들은 비례밸브 인가전압과 무관하게 동일한 압력이 형성됨을 볼 수 있는데, 이 구간이 비례밸브의 최저 조정압력 특성구간에 해당한다. 최저 조정압력 특성구간은 인가전압이 상승함에 따라 그 범위가 점차 넓어짐을 볼 수 있으며, 최대 인가전압의 경우의 최저 조정압력 구간은 무려 정격유량의 약 31%에 달함을 알 수 있다. 따라서 비례 압력제어밸브가 압력제어 기능을 충분히 발휘하기 위해서는 반드시 밸브에 충분한 유량이 공급되어야 함을 파악할 수 있다.

## 6. 비례압력제어밸브 동특성 실험

### 6.1 전압 계단입력에 따른 압력제어 응답특성

비례압력제어밸브의 동적 응답성능을 파악하기 위해, 압력릴리프밸브로 시스템 압력을 160bar 그리고 펌프 토출 유량을 2l/min으로 유지시킨 상태에서, 비례 솔레노이드에 인가되는 전압을 0V~4V, 0V~7V, 0V~10V로 그리고 2V~8V, 3V~9V로 변화시켰을 때 압력특성 곡선은 Fig. 13과 같다.

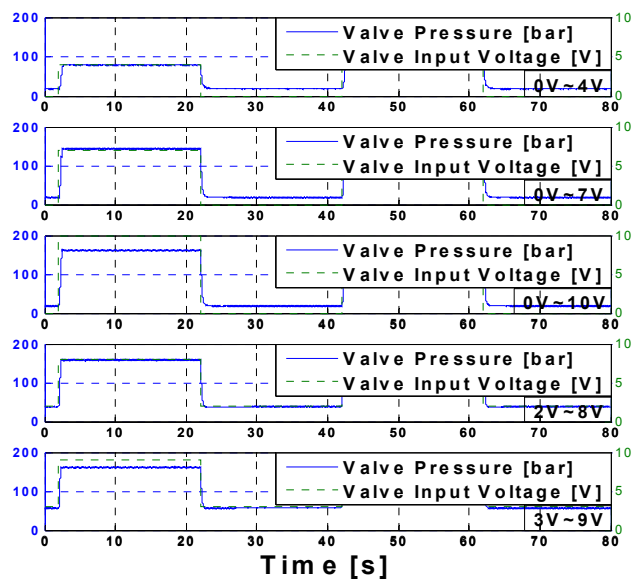


Fig. 13 Pressure regulating performance

위 그래프로부터 전압입력에 대한 제어압력 특성은 오버슈트가 없는 과잉감쇠(over-damped) 특성을

보임을 알 수 있고, 입력 전압에 대한 계단응답의 상승시간과 하강시간을 계산하여 정리하면 Table 3과 같다.

Table 3 전압 계단입력에 따른 동적 응답시간

전압 입력 범위	응답 시간 (sec)	
	상승시간	하강시간
계단입력 0V~4V	0.339	0.500
계단입력 0V~7V	0.252	0.390
계단입력 0V~10V	0.241	0.380
계단입력 2V~8V	0.238	0.350
계단입력 3V~9V	0.208	0.320

응답시간을 살펴보면 전반적으로 상승시간이 하강 시간보다 빠른 것을 볼 수 있으며, 솔레노이드 인가 전압에 따른 범위가 커질수록 하강시간 및 상승시간이 빨라지는 것을 파악할 수 있는데, 이는 전압 상승에 따라 비례 솔레노이드의 자화된 힘과 스프링력이기는 힘이 고전압일수록 더 빠르게 발생하는 것이며, 전압 하강에 따라 비례 솔레노이드의 자화된 힘은 약해지지만 스프링력은 그대로 이므로 저전압의 약한 힘은 스프링력 보다 큰 힘을 얻기 위한 시간이 필요하므로 하강시간이 상승시간 보다 늦어지는 것이라 판단된다.

한편, 계단 전압입력을 3V~9V로 인가한 경우 상승시간은 계단입력 2V~8V에 비해 짧은데, 그 이유는 비례 솔레노이드의 비선형적 특성에 기인한 것으로, Fig. 9에서 보듯이 9V 부근에서부터 자기력 포화 현상이 시작되기 때문이다.

6.2 유량 계단입력에 따른 압력제어 응답특성

비례밸브에 공급되는 유량의 변화에 따른 밸브의 동적 응답특성을 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 먼저 릴리프밸브의 압력을 160bar로 설정한 상태에서 비례밸브 인가하는 전압을 각각 2V, 4V, 6V, 8V로 일정하게 유지하며, 공급유량을 0.5l/min~1.5l/min 및 0l/min~2l/min으로 급격히 변경하였을 경우 압력제어 응답특성은 각각 Fig. 14, Fig. 15와 같다.

Fig. 14와 Fig. 15로부터, 유량 계단입력에 따른 압력변화는 공급 유량 변화량의 크기에 비례하여 증가하며, 2차 동역학 시스템(2nd order dynamics system)의 특성을 지니고 있음을 볼 수 있다. 그런데, 유량 계단입력 0.5l/min~1.5l/min 경우에 오버슈트가 없는 과잉감쇠(over-damped) 특성을 보이지만, 유량

계단입력 0l/min~2l/min 경우에는 상당한 크기의 오버슈트가 발생하는 부족감쇠(under-damped) 특성을 지니는 비선형적 현상을 내포하고 있다.

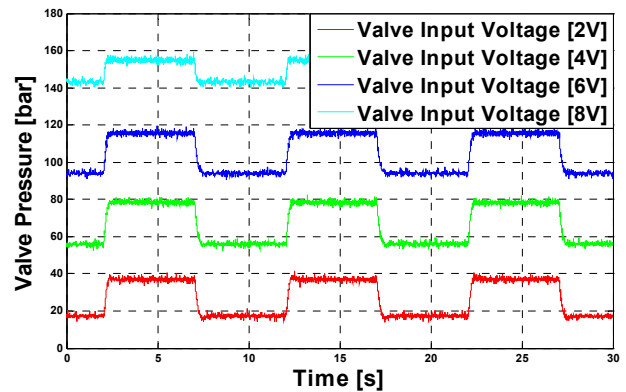


Fig. 14 Step response due to flow rate change (0.5l/min ~ 1.5l/min)

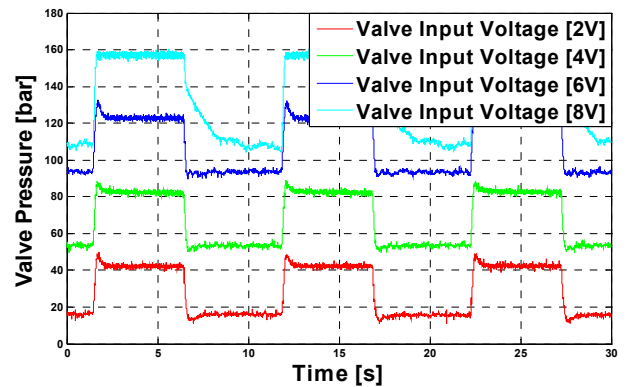


Fig. 15 Step response due to flow rate change (0l/min ~ 2l/min)

한편, 유량 계단입력의 경우 압력제어 동적 응답시간을 정리하면 Table 4와 같고, 이로부터 전반적으로 상승시간이 하강시간보다 빠르며, 유량 변화의 폭이 클수록 응답시간이 오히려 빠름을 파악할 수 있다.

Table 4 유량 계단입력에 따른 동적 응답시간

유량 입력 범위	유량 입력 범위	응답 시간 (sec)	
		상승시간	하강시간
0.5l/min ~ 1.5l/min	2V	0.187	0.153
	4V	0.218	0.250
	6V	0.188	0.305
0l/min ~ 2l/min	8V	0.114	0.138
	2V	0.113	0.143
	4V	0.118	0.133
	6V	0.120	0.119
	8V	0.070	2.996

### 6.3 주파수 응답 특성 실험

다음은 비례밸브 인가전압의 주파수에 따라 시스템의 설정압력의 변화 특성을 파악하기 위해, 밸브에 사인파형 입력전압의 주파수를 바꿔가면서 형성되는 압력을 측정하였다. 입력전압의 폭은 정특성 실험 결과 선형 구간에 해당하는 2V~8V로 선정하였으며, 공급유량은 밸브의 정격유량으로 실험을 진행한 결과는 Fig. 16과 같다.

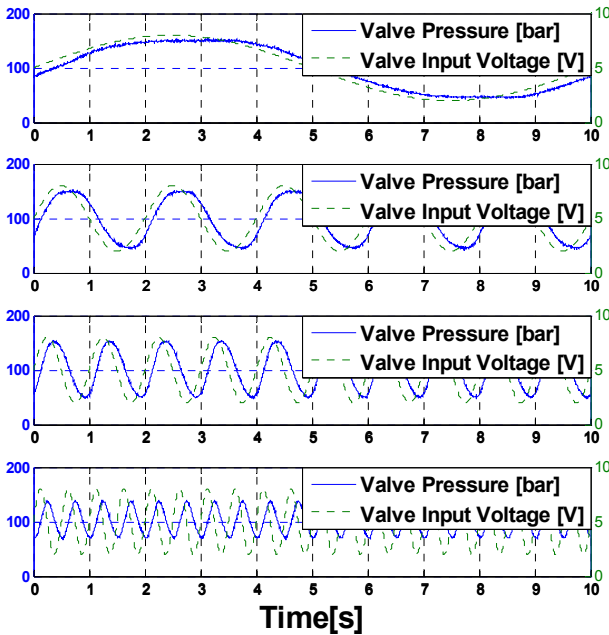


Fig. 16 Sine response due to frequency change

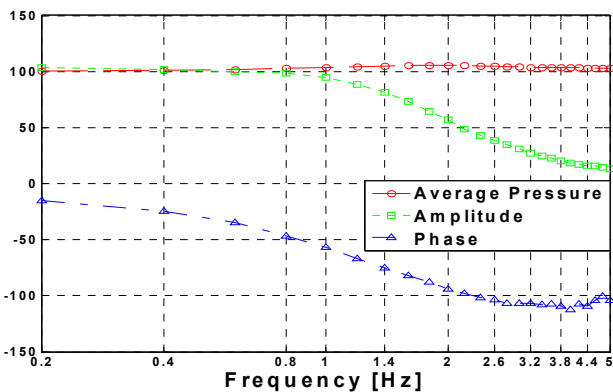


Fig. 17 Average pressure, amplitude and phase angle due to frequency change

위와 같은 시간응답 그래프로부터, 입력 주파수에 따라 형성되는 압력의 평균값, 압력의 진폭 그리고 입력전압과 압력 사이의 위상각도를 추출하여, 이를 그래프로 도시하면 Fig. 17과 같다.

위 그림으로부터, 비례밸브의 압력제어 특성은 입력 주파수가 증가함에 따라 진폭이 감소하고 위상차

이가 커지는 전형적인 2차 동역학 시스템(2nd order dynamics system)의 특성을 지니고 있음을 파악할 수 있으며, 구석주파수(corner frequency)는 약 1Hz 그리고 대역폭(bandwidth)은 약 2Hz임을 알 수 있다.

### 6.4 히스테리시스 특성 실험

릴리프밸브로 공급압력( $P_R$ )을 160bar 그리고 공급유량을 2l/min으로 설정한 상태에서, 0V~10V 범위의 톱니파형 전압을 비례밸브에 여러 주기 시간으로 인가하면서 형성되는 압력파형을 살펴보면 Fig. 18과 같다.

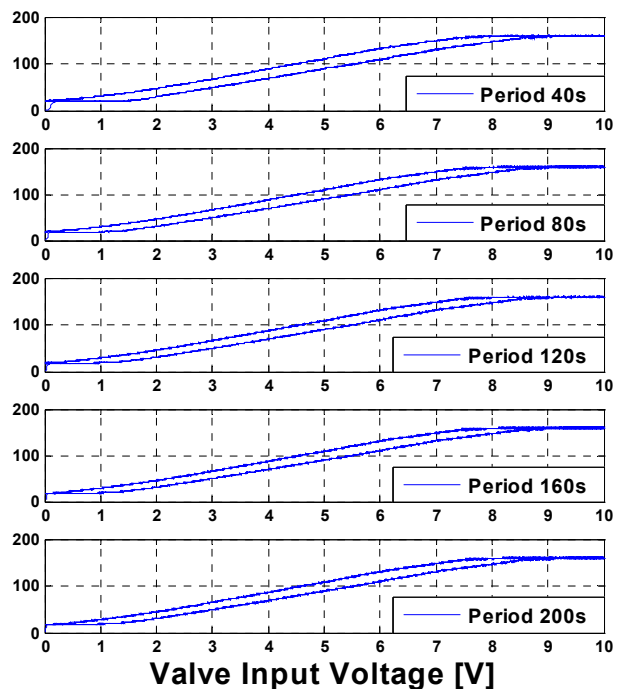


Fig. 18 Sweep response due to time period

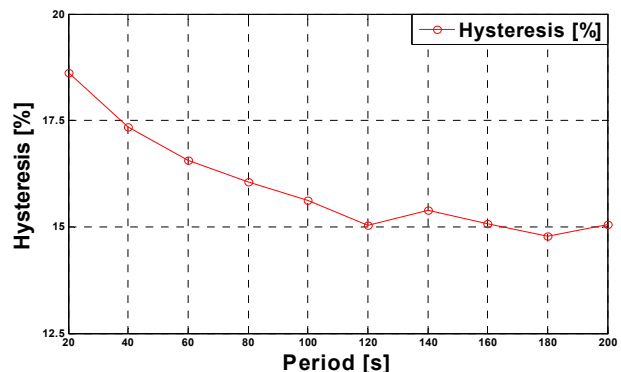


Fig. 19 Period vs Hysteresis

Fig. 18로부터 인가전압의 주기 변화에 따른 히스테리시스 값을 정리하면 Fig. 19와 같으며, 이 그래프

에 따라 주기가 200초 이상 즉 과도응답의 평균시간보다 600배 이상이면 히스테리시스 값이 수렴하는 것을 파악할 수 있다. 따라서 주기가 긴 톱니파형을 비례밸브에 인가함으로써 히스테리시스 특성실험을 간편하게 수행할 수 있음을 알 수 있다.

다음으로 비례밸브에 공급되는 유량의 변화에 따라 발생하는 히스테리시스 크기를 관찰하였다. 이를 위해 공급압력을 160bar로 유지하고, 주기 200초 0~10V 범위의 톱니파형 전압을 비례밸브에 인가할 때 형성되는 압력을, 비례밸브 공급 유량을 각각 0.5 l/min, 1.0l/min, 1.5l/min, 2.0l/min으로 변경시켜 가면서 측정하여 히스테리시스의 크기 변화를 나타내면 Fig. 20과 같다.

이 실험으로부터 비례밸브의 히스테리시스는 기본적으로 인가전압의 변화에 의해 발생하지만, 또한 밸브 통과유량에 따라서도 민감하게 변화함을 알 수 있으며, 히스테리시스의 크기는 유량이 증가함에 따라 점차 감소함을 파악할 수 있다.

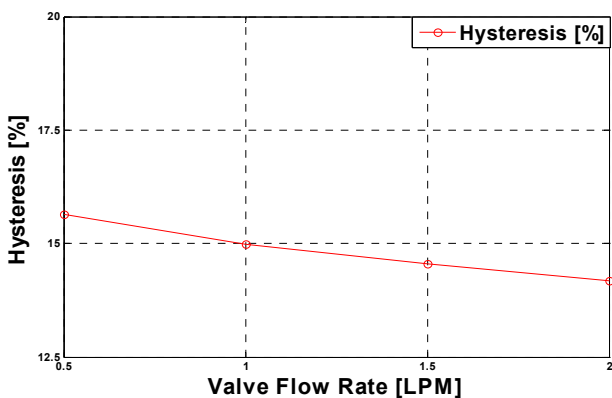


Fig. 20 Valve Flow Rate vs Hysteresis

## 7. 결 론

본 논문에서 현재 개발 단계에 있는 파일럿 비례압력제어밸브의 특성을 파악하기 위해 장비를 구축하고 정특성 및 동특성 실험을 수행하였다.

그 결과 입력전압-설정압력 특성은 비선형성 및 포화현상이 발견되는데 이는 비례 솔레노이드의 특성에 기인한 것이며, 통과유량-설정압력 특성은 압력 오버라이드 현상을 보이며, 상당한 폭의 최저 조정압력 구간이 있기 때문에 사용상 주의가 필요함을 알 수 있었다. 계단응답 실험 결과 상승시간은 항상 하강시간보다 빠르며, 비례밸브는 입력전압에 대해 과잉감쇠 특성을 보이는 한편, 공급유량에 대해서는 진

폭의 크기에 따라 과잉감쇠와 부족감쇠 특성이 혼재된 특이한 현상을 발견하였다. 그리고 주파수응답 실험 결과 비례밸브는 2차 동역학 특성을 보이며, 히스테리시스는 입력전압 뿐만 아니라 공급유량에 대해서도 나타남을 발견할 수 있었다.

추후에 본 논문의 연구결과는 비례압력제어밸브의 성능향상을 위하여 개발된 파일럿 밸브 AMESim 시뮬레이터의 파라미터 튜닝 및 민감도 해석을 위한 자료로 사용할 것이다.

단 본 논문의 데이터는 비례밸브의 특성을 파악하기 위한 실험결과로서, 밸브의 성능을 계량화하기 위한 규격화에 따른 실험이 아님을 밝힌다.

## 참고 문헌

- 1) (주)세원셀론텍, “다단식 고응답 비례압력밸브 해석, 제어기술 개발, 전략산업 기술개발 사업, 사업 계획서”, 2008.
- 2) 권수중, 이현섭, 김학은, 박재필, 최병근, 정용길, “유압 프레스 압력제어시스템의 비례압력제어밸브 동특성 해석”, 한국동력기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 221~225, 2004.
- 3) 윤소남, 안병규, 류재섭, 함영복, “비례압력제어밸브 개발”, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 2004.
- 4) 김형만, 태혁준, 이현우, 이창훈, “비례제어방식 솔레노이드 밸브 압력제어특성에 관한 동적해석”, Transactions of KSAE, Vol. 11, No. 6, pp. 80~85, 2003.
- 5) 오인호, 장지성, 이일영, “승요차 4륜 조향(4WS) 장치용 비례 압력 제어 밸브의 특성에 관한 연구” 한국자동차공학회논문집, 제4권, 제4호, pp. 87~96, 1996.
- 6) 정현술, “다단식 고응답 비례압력밸브 해석, 제어 기술 개발, 전략 산업 기술개발 사업, 연차보고서,” (주)세원셀론텍, 2009.
- 7) (주)세원셀론텍, “세원 유압기기 종합 카탈로그”, Part H. 비례 전자식제어기기, 2009.
- 8) (주)LS 산전 “SV\_iS5(2.13버전) 사용 설명서” 4장 (운전), 5장(기능설명), 2006. 6.
- 9) 정현술, 이광현, 김형의, “유압 블리드-오브 회로의 특성 재검토 및 실험적 동특성 모델링”, 대한기계학회 논문집 A, 제26권, 제8호(통권 제203호), pp. 1552~1564, 2002. 8.