

무단변속기용 압력제어밸브의 설계 파라미터 변화에 따른 거동특성 해석

Analysis on the Behavior Characteristics According to the Design Parameters of Pressure Control Valve for CVT

김 중 배*, 윤 영 환
(Joong-Bae Kim and Young-Hwan Yoon)

Abstract : The modelling and design of the PCV(Pressure Control Valve) for passenger car CVT(Continuously Variable Transmission) are considered in this paper. For analysis and design, the simulation model of the PCV is derived by using commercial software, AMESim. For a good design of the PCV, the sensitivity analysis for design parameters is carried out and the static and dynamic characteristics of the developed PCV are experimented. The simulation and experimental results are presented to show the validity of the design process.

Keywords : CVT(Continuously Variable Transmission), PCV(Pressure Control Valve), solenoid, design sensitivity analysis, F-I characteristics, AMESim

I 서론

금속 V-벨트 방식의 무단변속기(이하 CVT)는 구동 폴리와 종동 폴리에 각각 유압에 의한 축력을 작용시켜서 동력 전달과 변속을 일으킨다. 유압은 변속기 내부에 설치된 오일 펌프로부터 발생되며, 유압회로를 거쳐 각 폴리에 공급된다. 유압에 의한 축력은 구동 폴리에 대해서는 변속을 발생시키는 기능을 갖으며, 종동 폴리에 대해서는 벨트 슬립을 방지하고 토크를 전달하는 기능을 갖는다[1].

승용차 CVT의 유압제어 시스템의 변속비 제어 계통은 유량제어 방식과 압력제어 방식의 2가지로 크게 분리된다. 일반적으로 일정 변속비를 유지시켜야 하는 경우 유량제어 방식은 외부제어에 의해 변속기 밸브 스톱의 위치를 제어해야 하는 반면, 압력제어 방식은 압력 피드백에 의해 제어가 수행되기 때문에 유량제어 방식에 비해서 제어가 용이한 장점을 갖는다. 현재 실용화되어 있는 유량제어식 CVT는 변속단의 고정성이 어렵고, 응답성의 지연 및 스포츠 모드의 적용이 어려워 이것을 해결 할 수 있는 압력제어 방식이 요구되고 있다[2]. 이러한 이유로 최근 해외에서 개발된 전자제어 방식의 CVT들은 압력제어방식을 채택하고 있다.

국내 자동차 업체는 유량제어 방식의 외국 제품을 도입하여 장착하고 있으며 국산화 개발을 추진하고 있다. 또한 유량제어 방식의 단점을 개선하기 위해 압력제어 방식의 CVT를 개발하기 위한 자체 연구개발에 노력하고 있다[3,4]. 외국의 자동차 업체들은 기존의 개발된 CVT의 성능을 향상시키기 위한 연구를 진행 중이다[5,6].

본 논문에서는 압력제어 방식 CVT의 핵심부품인 압력제어밸브에 대한 신뢰성 있는 모델의 구축, 설계 민감도 해석

을 통한 밸브의 설계변수 도출, 해석결과에 기초한 설계 및 제작, 실험적 검증 등에 대해 논하고자 한다. 모델링과 시뮬레이션은 IMAGINE S.A에서 개발한 AMESim Ver 4.0.2를 사용하였으며, 비례 압력제어밸브의 제작을 위해 기성품의 비례 솔레노이드를 이용하였다.

II 시뮬레이션 모델

1. 유압작동유

CVT용 유압작동유(Dexron II)의 물성치는 오일 메이커에서 제공한 값들을 이용한다. 동점성계수는 압력의 진동주기와 진폭에 영향을 미치는 인자인데 온도에 따라 그 값이 영향을 받는다. 따라서 실험시의 온도를 고려하여 55°C에서의 동점성계수를 유압작동유 업체에서 제공하는 온도-점도 지표를 참조하여 구한다. Saturation pressure는 15bar, air/gas content는 0.1%의 추정치를 사용한다.

2. 유압부품 모델링

유압부품 모델링에 필요한 데이터는 밸브의 기본 설계 사양을 기준으로 사용한다. 밸브의 스톱과 슬리브 사이의 공차, 스톱 모서리의 공차, 각 부품 사이의 라인 동력학 등은 무시한다.

밸브의 스톱에서 발생하는 점성마찰계수의 기준 값은 다

표 1. 유압작동유의 물성치.

Table 1. Hydraulic fluid parameters.

Parameters	Unit	Value
Density	kg/m ³	875
Bulk modulus	bar	13,800
Kinematic viscosity	cSt	25
Fractional air content	%	0.1
Temperature	°C	55
Polytropic index for gas content	None	1.4

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 10. 26., 채택확정 : 2007. 1. 25.

김중배 : 동양공업전문대학 기계설계과(jbkim@dongyang.ac.kr)

윤영환 : (주)신호시스템(yhyoon@shinho-systems.co.kr)

음의 2가지 방법을 사용하여 설정한다[7]. 스프링이 없는 밸브 모델의 경우 물리적 의미에서의 점성마찰계수를 계산하는 방법을 사용하며, 다음의 식을 이용한다.

$$C_v = \frac{\mu(\pi D)L}{l_r} \tag{1}$$

여기서 C_v 는 점성마찰계수, μ 는 작동유의 점성계수, D 는 스풀의 직경, L 은 스풀과 슬리브의 접촉길이, l_r 은 스풀과 슬리브 사이의 반경방향 간극이다.

스프링이 있는 밸브 모델의 경우 수학적 의미에서의 점성마찰계수를 계산하는 방법을 사용하며, 다음 식을 이용한다.

$$C_v = 2\zeta\sqrt{km} \tag{2}$$

여기서 ζ 는 감쇠비, k 는 스프링 상수, m 은 스풀의 질량이다. 감쇠비는 제어밸브 설계시의 일반적인 값인 0.4로 설정한다.

시뮬레이션을 할 때 C_v 는 위의 식에서 계산한 기준 값을 이용하는데, 실험을 통해 그 값을 검증할 필요가 있다. 본 연구에서는 실험결과와 유사한 결과가 나오도록 수정하여 사용한다.

3. 비례 솔레노이드 선정

본 연구에서는 비례 솔레노이드 자체는 개발대상이 아니며, 기성품 중에서 적합한 제품을 선정하여 사용한다. 비례 솔레노이드는 MSM사의 제품을 대상으로 성능평가를 실시한다. 압력제어밸브의 정특성에서 선형성 및 히스테리시스는 비례 솔레노이드에 의해 그 성능이 좌우되기 때문에 용량이 충분하고, 선형성이 좋고, 히스테리시스가 작으며, 비례구간이 큰 비례 솔레노이드를 선정하도록 한다. 특성실험을 위해 아날로그 방식의 앰프를 사용하고, 진폭 0.01A, 주파수 100Hz의 디더(dither) 신호를 인가하여 실험을 실시한다.

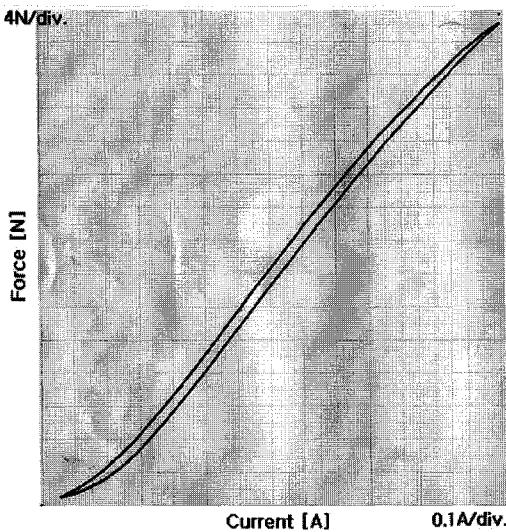


그림 1. MSM 비례 솔레노이드의 F-I 특성실험 결과.
Fig. 1. Test result of F-I characteristics of MSM solenoid.

F-I(force-current) 특성실험은 플런저(plunger) 변위를 비례 구간 내에서 일정하게 유지한 상태에서 전류를 변화시키면서 전류에 따른 전자기력의 변화를 측정한다.

실험결과 MSM사의 비례 솔레노이드는 히스테리시스 및 선형성이 우수함을 확인하였다.

그림 1은 MSM사의 솔레노이드에 대한 F-I 특성실험 결과를 나타내고 있으며, 히스테리시스는 최대 2.0N이다. 솔레노이드의 정격출력은 1.25A, 54N이며 자유장 4.0mm, 비례구간 1.8mm이다.

4. 해석 모델

CVT 시스템의 일부분인 압력제어밸브의 구조와 구성 요소들은 그림 2와 같다. 유압펌프, 압력제어밸브, 구동 폴리 등으로 구성된다.

압력제어밸브는 크게 솔레노이드, 파일럿 밸브 및 메인 밸브로 구분할 수 있다. 작동원리는 정상상태의 경우 유압원인 펌프에 의해서 공급된 오일은 공급 오리피스를 통하여 파일럿실(Vp)로 유입되고, 또한 포핏에 의해 형성되는 포핏 포트를 통하여 오일 탱크로 복귀된다. 이때 스풀 양쪽실(chamber)의 압력이 같게 되면 스풀은 중립 위치를 유지하게 된다.

만일 솔레노이드에 전류를 증가시키면 플런저에는 전류량에 비례하는 힘이 생겨 포핏을 아래로 밀어 파일럿실(Vp)의 압력이 상승하고, 포핏은 솔레노이드에 작용하는 힘과 파일럿실에 작용하는 힘이 평형을 이루는 곳에서 정지한다. 따라서 파일럿실의 압력은 전류량에 비례해서 변하게 되며 이 압력이 상승하게 되면 스풀이 왼쪽으로 이동하고 공급 포트를 통해 유량이 구동 폴리로 유입되어 압력(Pc)이 상승하게 된다.

한편 외란에 의해 구동 폴리 내부의 압력이 상승하게 되면 피드백 오리피스를 통해 유량이 피드백실(Vf)로 유입되어 실내의 압력이 상승하게 되고, 이 압력이 파일럿실의 압력보다 높게 되면 스풀을 오른쪽으로 밀어 리턴 포트를 통해 유량이 탱크로 빠져나가 구동 폴리 내부의 압력이 감소하게 된다. 이런 과정을 통해 구동 폴리 내의 압력은 파일럿실 압력과 같게 조절된다. 따라서 구동 폴리 내의 압력

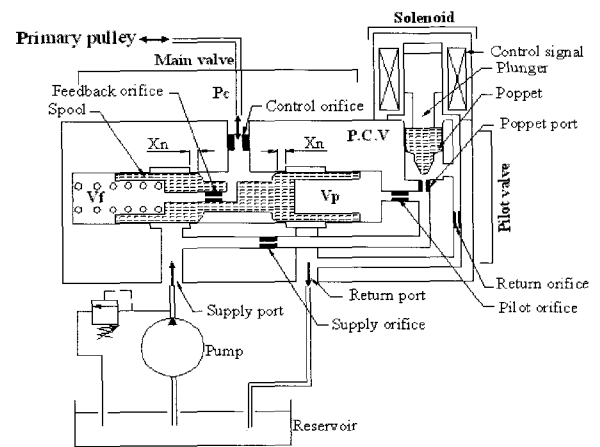


그림 2. CVT 개략도.
Fig. 2. Schematic diagram of CVT.

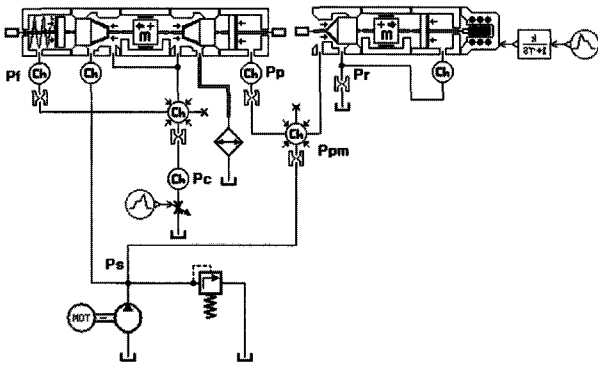


그림 3. AMESim에 의한 압력제어밸브의 시뮬레이션 모델.
Fig. 3. Simulation model of PCV by using AMESim.

즉, 제어압력(Pc)은 솔레노이드에 인가한 전류에 비례하여 피드백 제어된다.

압력제어밸브의 개발에서 기본적으로 요구되는 조건은 CVT 구동 폴리 내부압력을 선형적으로 제어 가능하고, 피드백 오리피스에 의한 기계적인 피드백 응답성이 좋아야 한다. 또한 개도 절환 및 액추에이터 내부 유량 배출 시 스푼 진동에 의한 이상을 발생이 없어야 한다.

경제적이면서 고응답에 따른 불안정과 스푼 진동에 의한 이상을 발생이 적은 압력제어밸브는 파일럿 형이다. 압력제어밸브의 설계변수에 대한 특성을 이론적으로 검토하여 솔레노이드, 포핏, 스푼 및 각 오리피스에 대한 시뮬레이션 모델을 수립한다. 그림 3은 AMESim을 이용하여 구축한 압력제어밸브의 모델을 나타낸다.

III. 시뮬레이션

1. 설계 민감도 해석

본 연구의 대상인 CVT용 압력제어밸브의 사양은 제어압력 범위 0.5~100bar 그리고 히스테리시스 5% 이하 등이 요구된다. 그리고 비례 솔레노이드 밸브의 정격압력은 100bar, 정격유량은 10L/min이다.

이러한 요구조건을 만족시키기 위해 밸브의 각종 설계변수인 오리피스의 크기, 스푼 및 포핏의 설계값, 피드백 스푼링 상수 등에 대한 민감도 해석을 실시하고 이를 통해 압력제어밸브의 성능에 미치는 각각의 설계변수의 영향을 검토하여 설계에 반영한다.

AMESim에 의한 시뮬레이션 과정에는 스푼 및 포핏의 운동방정식, 유압 압축성을 고려한 연속방정식, 개도변화에 대한 유동력 등이 고려된다[8].

다음에 밸브 설계시 가장 중요한 오리피스에 대한 민감도 해석 결과를 제시한다.

그림 4는 피드백 오리피스에 대한 영향을 검토하기 위해 민감도 해석한 결과이다. 피드백 오리피스의 크기를 0.4mm (run1), 0.3mm(run2), 0.2mm(run3)로 변화시켜가며 시뮬레이션을 실시한 결과 피드백 오리피스의 크기가 커질수록 피드백설의 압력전달이 크게 작용하여 오버슈트가 크게 발생하는 것을 알 수 있다.

따라서 0.2mm를 선정할 수 있었으나 0.2mm의 경우 가공

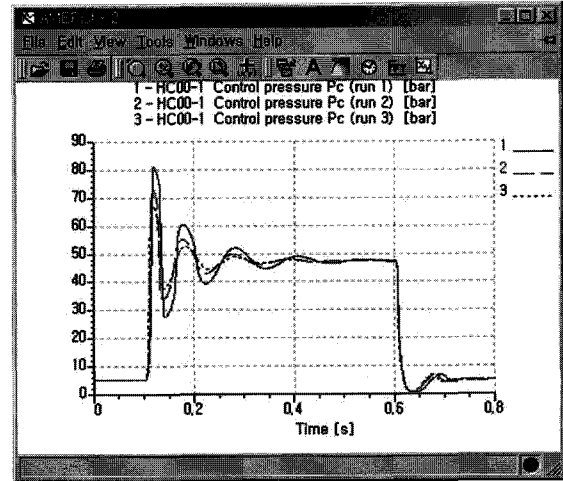


그림 4. 피드백 오리피스의 민감도 해석.
Fig. 4. Sensitivity analysis of feedback orifice.

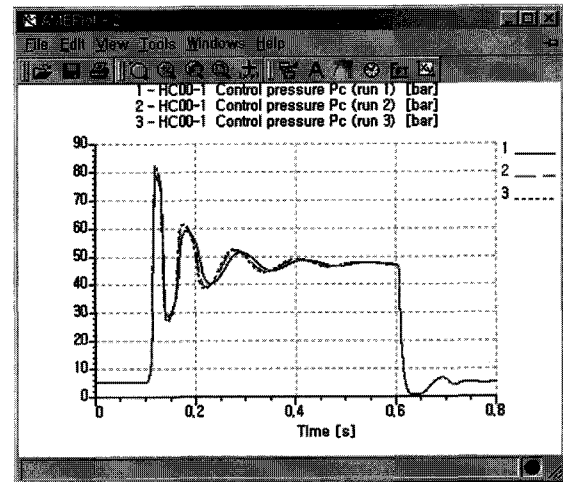


그림 5. 제어 오리피스의 민감도 해석.
Fig. 5. Sensitivity analysis of control orifice.

비용의 상승에 따라 경제성이 없으므로 0.3mm를 선정한다.

오리피스의 크기가 0.3mm로 작을 경우 이물질에 의한 막힘이 발생될 수 있으므로 인라인 필터를 적용한다.

그림 5는 제어 오리피스에 대한 영향을 검토하기 위해 민감도 해석한 결과이다. 제어 오리피스의 크기를 2.0mm (run1), 2.5mm(run2), 3.0mm(run3)로 변화시켜가며 시뮬레이션을 실시한 결과 제어 오리피스의 크기가 작을수록 압력 전달이 작게 작용하여 밸브의 정착시간이 길어지고 압력의 채터링 진폭이 작게 발생하는 경향을 나타냄을 알 수 있다.

그러나 제어 오리피스가 너무 작을 경우 구동 폴리에 공급되는 유량의 지연이 발생되어 응답성이 저하되는 문제가 발생할 수 있다. 반면에 제어 오리피스가 클 경우 구동축에서 발생한 진동 등에 의한 구동 폴리의 외란 때문에 제어실의 압력변동이 지연 없이 압력제어밸브에 작용하기 때문에 불안정의 원인이 될 수 있다.

따라서 응답성과 안정성을 고려한 제어 오리피스의 설계가 필요하다.

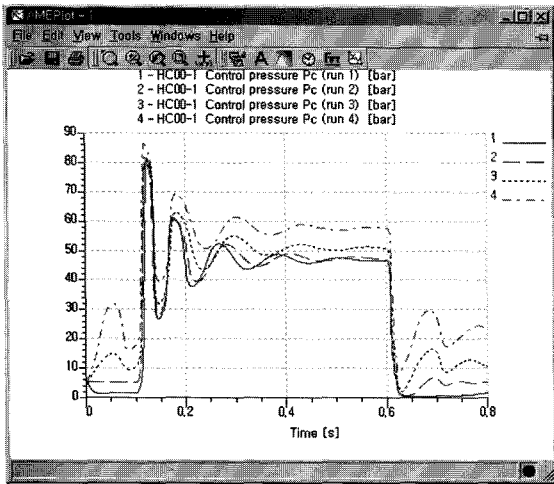


그림 6. 공급 오리피스의 민감도 해석.
Fig. 6. Sensitivity analysis of supply orifice.

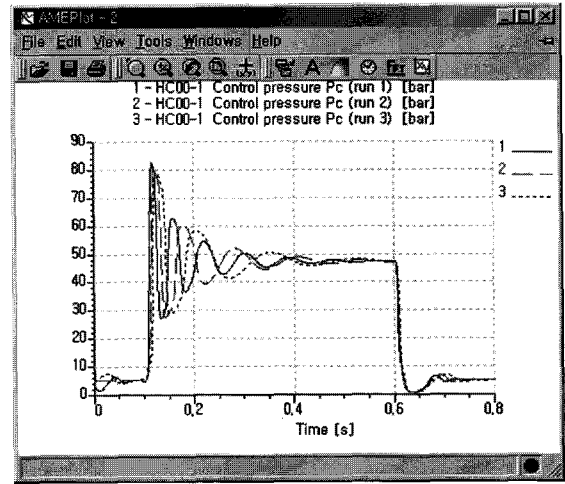


그림 8. 스톱 랩의 민감도 해석.
Fig. 8. Sensitivity analysis of spool lap.

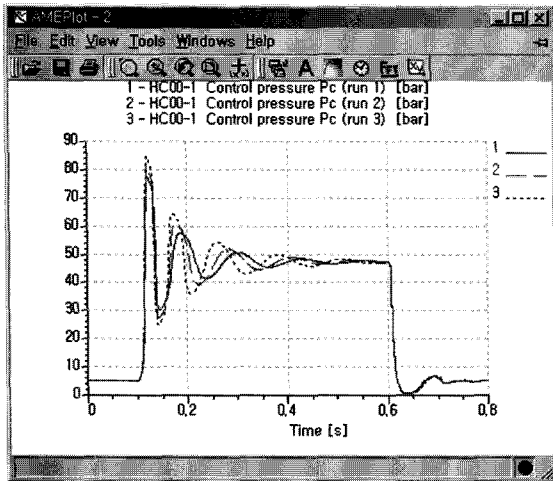


그림 7. 피드백실 체적의 민감도 해석.
Fig. 7. Sensitivity analysis of feedback chamber volume.

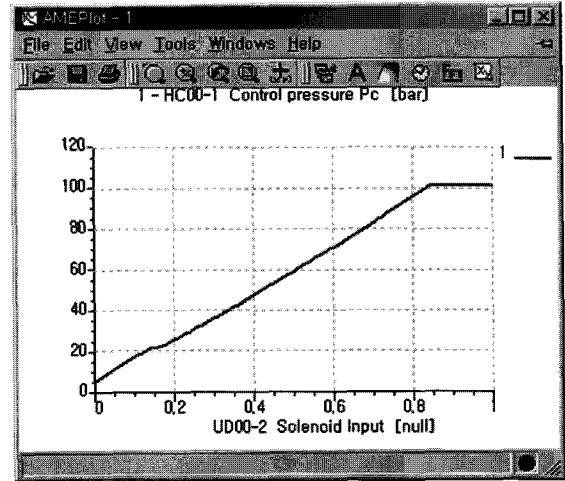


그림 9. 압력제어밸브의 정특성.
Fig. 9. Static characteristics of PCV.

그림 6은 공급 오리피스에 대한 영향을 검토하기 위해 민감도 해석한 결과이다. 공급 오리피스의 크기를 0.2mm (run1), 0.3mm(run2), 0.4mm(run3), 0.5mm(run4)로 변화시켜가며 시뮬레이션을 실시하였다.

시뮬레이션 결과 공급 오리피스의 크기가 커질수록 파일럿의 공급유량이 크게 작용하여 초기의 압력이 높게 되는 문제가 발생한다. 0.2mm의 경우 가공비용의 상승에 따라 경제성이 없으므로 0.3mm를 선정한다.

그림 7은 피드백실 체적의 영향을 검토하기 위해 민감도 해석한 결과이다. 피드백실 체적을 3.0cc(run1), 4.0cc(run2), 5.0cc(run3)로 변화시켜가며 시뮬레이션을 실시한 결과 피드백실 체적의 크기가 커질수록 응답성은 빨라지나 제어압력의 오버슈트가 증가됨을 알 수 있다.

그림 8은 스톱의 랩량에 대한 영향을 검토하기 위해 민감도 해석한 결과이다. 스톱 랩량을 0.1mm(run1), 0.15mm (run2), 0.2mm(run3)로 변화시켜가며 시뮬레이션을 실시한 결과 스톱 랩량이 커질수록 응답 지연이 발생하는 것을 알

수 있다.

그러나 랩량이 작을 경우 응답성은 빨라지나 구동 풀리의 외란에 의한 밸브의 불안정성의 원인이 될 수 있다. 따라서 응답성과 불안정성을 고려한 제어 오리피스의 설계가 필요하다.

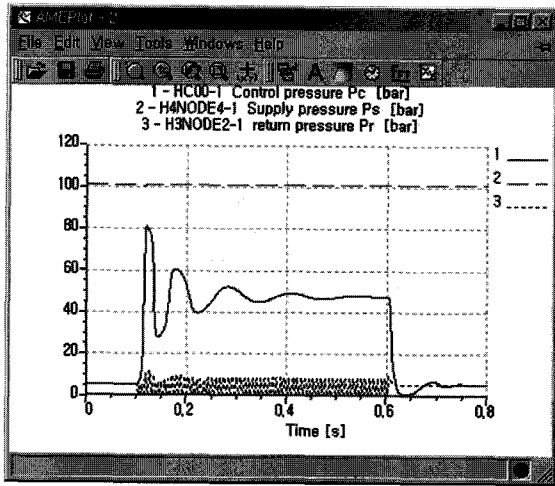
그림 9는 압력제어밸브의 정특성 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 결과 초기 압력은 5bar이며, 0-1.0A로 전류를 가했을 때 제어압력은 5-100bar의 값을 나타내고 있으며, 거의 선형성을 유지함으로써 CVT 구동 풀리내의 압력을 선형적으로 제어할 수 있음을 알 수 있다.

2. 스텝 응답 시뮬레이션

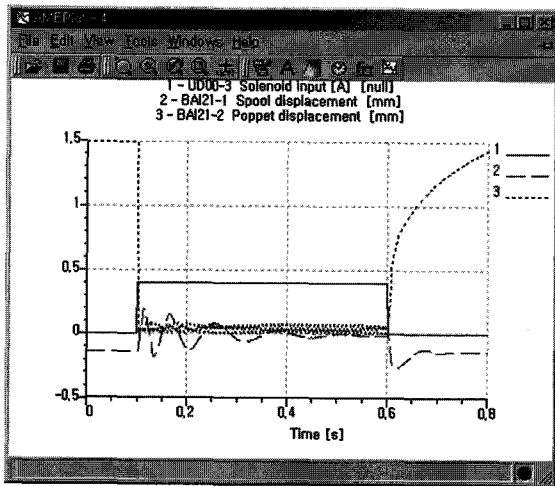
그림 3의 시뮬레이션 모델에 대해 교축 밸브를 닫은 상태에서 전류의 스텝 입력을 솔레노이드에 인가한 경우의 압력제어밸브의 동특성이 그림 10에 제시되어 있다.

제어압력, 공급압력, 리턴압력, 솔레노이드 입력, 스톱변위, 포핏 변위 등이 제시되어 있으며 밸브의 정착시간 2% 기준에서 밸브의 응답성은 약 310msec로 나타났다.

시뮬레이션을 위해 적분시간 간격은 0.01msec, 최종시간은 800msec로 설정하였다. 시뮬레이션에 사용된 밸브의 파라미터 값들이 표 2에 제시되어 있다.



(a) Pressure



(b) Current and displacement

그림 10. 압력제어밸브의 시뮬레이션 결과.

Fig. 10. Simulation result of PCV.

표 2. 압력제어밸브 파라미터.

Table2. Parameters of PCV.

Parameters	Unit	Value
Mass of spool	kg	1.2×10^{-3}
Mass of poppet	kg	8.1×10^{-5}
Constant of feedback spring	N/m	6.5×10^3
Area of poppet port	m^2	4.9×10^{-6}
Diameter of spool	mm	10
Overlap of spool	mm	0.2
Angle of spool(supply side, return side)	deg	50, 40
Angle of poppet	deg	20
Diameter of feedback, control, supply, and return orifice	mm	0.3
Diameter of control orifice	mm	2.5
Feedback chamber volume	cc	4.0

IV. 실험

1. 설계 및 제작

압력제어밸브의 작동원리와 기본적인 요구조건을 만족하기 위한 압력제어밸브 설계안을 기초로 시뮬레이션 모델을 구성하였으며, 압력제어밸브의 오리피스, 스톱 직경, 포핏 개도크기 등 기본적인 설계변수는 특성 시뮬레이션을 통해 구하였다.

그림 11은 압력제어밸브를 제작하기 위한 조립 단면도이다. 그리고 그림 12는 제작된 압력제어밸브를 나타낸 사진이다.

2. 특성 실험

제작된 압력제어밸브의 성능실험을 위한 실험장치 구성도는 그림 13과 같다. 실험용 유압회로의 구성은 토출 유량이 시스템의 부하에 따라 가변되는 액셀 피스톤식 펌프, 공급 측의 시스템 압력 조절과 과도한 압력 상승을 방지하기 위한 릴리프 밸브, 유량계, 스트레인 게이지형의 압력계, 실험용 밸브의 실험조건을 설정하기 위한 가변 교축 밸브, 솔

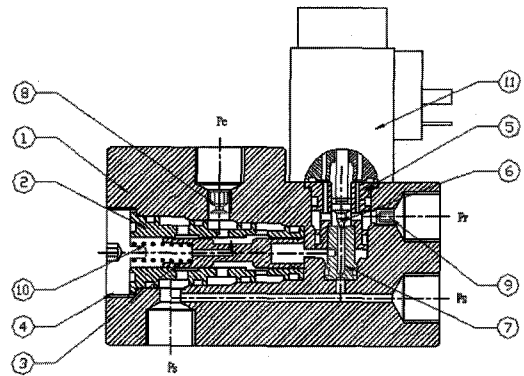


그림 11. 압력제어밸브의 단면도.

Fig. 11. Sectional drawing of PCV(1: Housing, 2: Spool sleeve, 3: Spool, 4: Cap, 5: Poppet sleeve, 6: Poppet, 7: Poppet fit, 8: Control orifice, 9: Return orifice, 10: Spring, 11: Proportional solenoid).

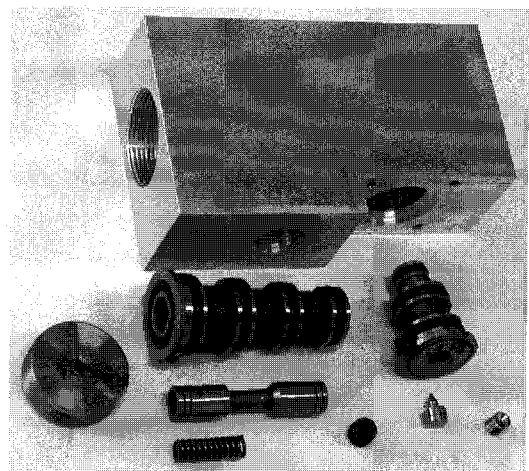


그림 12. 압력제어밸브 사진.

Fig. 12. Photograph of PCV.

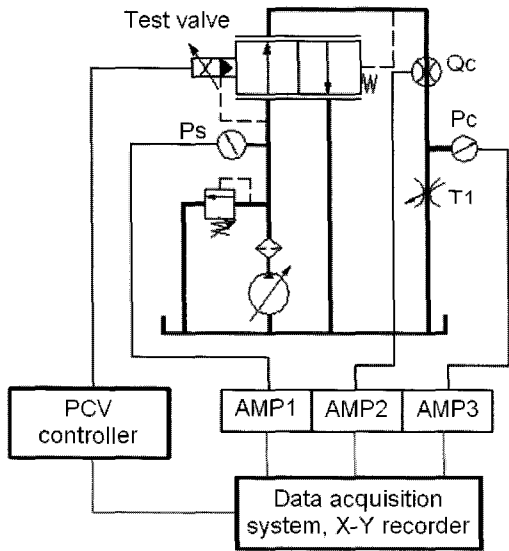


그림 13. 압력제어밸브의 실험회로.
Fig. 13. Test circuit of pressure control valve.

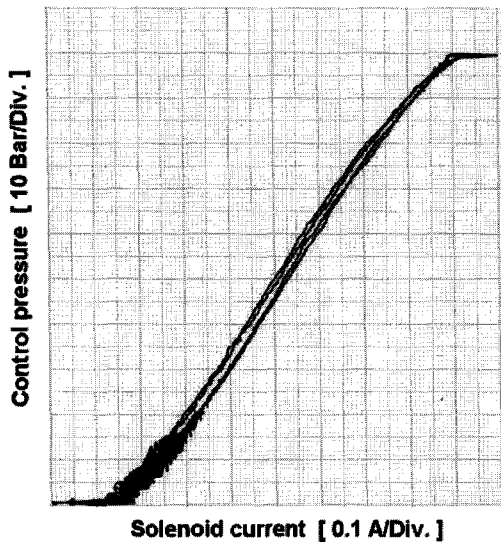


그림 14. 압력제어밸브의 정특성 실험결과.
Fig. 14. Experimental result of static characteristics of PCV.

레노이드의 전류를 제어하기 위한 컨트롤러(PWM 방식 앰프), X-Y 레코더, 동적 측정을 위한 신호처리장치로 구성되어 있다.

실험조건은 실제 차량의 조건과 유사하게 공급 유량을 12L/min, 시스템 압력을 10.5MPa로 설정하고, 실험 중 작동유의 온도 변화에 대한 영향을 최소화하기 위해 열교환기를 사용하여 작동유의 온도를 50±5°C로 유지시킨다.

정특성 및 동특성 실험 시 부하 조건인 제어관로는 교축 밸브인 T1을 사용하여 완전히 닫은 상태에서 실시한다.

그림 14는 제작된 압력제어밸브의 정특성 실험결과이다. 실험은 JIS규격에 따라 하였으며 실험결과 불감대는 0.2A 이하이다. 이것은 내부 스프링과 각 부품 사이에서 발생하는 마찰력에 의한 것이다. 0~1.0A로 전류를 가했을 때 압력 제

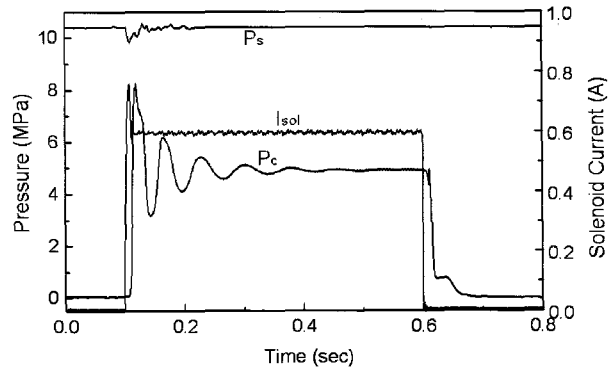


그림 15. 압력제어밸브의 스텝응답 실험결과.
Fig. 15. Experimental result of step response of PCV.

어 범위가 5~100bar로 거의 선형성을 유지함으로써 CVT 시스템에서 요구하는 기본 성능을 만족할 뿐만 아니라 최대 히스테리시스도 4.0% 이하이므로 우수함을 알 수 있다.

실험결과에서 0.3A 이하에서 압력의 채터링이 발생한 것은 낮은 압력에서 압력제어밸브의 안정성에 그 원인이 있다고 판단된다. 따라서 CVT 변속기 리그 실험을 통해 정격 압력에 대한 보완연구가 필요하다.

그림 15는 제작된 압력제어밸브의 스텝응답특성에 대한 실험결과인데 밸브의 정착시간 2%를 기준으로 밸브의 응답시간은 약 325msec로 나타났다. 그림 9의 시뮬레이션 결과와 비교하여 보면 정착시간과 제어압력의 크기가 거의 일치함을 알 수 있다.

V. 결론

자동차 CVT용 압력제어밸브를 개발하기 위해 유압작동유와 비례 솔레노이드에 대한 특성을 분석하여 시뮬레이션에 필요한 AMESim 모델을 구축하였으며, 압력제어밸브에 대한 시뮬레이션 모델을 AMESim을 이용하여 모델링하고 이에 대해 주요 튜닝 파라미터들에 대한 민감도 해석을 실시하였다.

이를 토대로 압력제어밸브에 요구되는 조건을 만족하도록 밸브를 설계하고 제작하여 성능실험을 실시하였다. 결과적으로 본 연구를 통해 제시된 압력제어밸브는 구동 풀리 내의 압력을 선형적으로 제어할 수 있음을 확인하였다. 솔레노이드 전류 0~1.0A에 대해 압력 제어 범위가 5~100bar 이고 최대 히스테리시스가 4.0%이므로 정특성이 우수하며, 솔레노이드 전류에 대한 스텝응답으로서 밸브의 정착시간 2%를 기준으로 밸브의 응답시간은 325msec이므로 동특성 또한 우수하였다.

개발된 해석모델을 통해 압력제어밸브 개발 이전단계에서 시뮬레이션을 수행함으로써 설계의 타당성 검증 및 시스템의 거동을 해석적으로 확인 가능하며, 개선방안 도출 및 성능을 정량적으로 분석할 수 있음을 확인하였다.

향후 다음 사항들에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

(1) 유압작동유의 체적탄성계수에 대한 비선형 모델을 개발하기 위해, 실제 CVT가 동작하는 상황에서 공기 혼합

율, 온도, 압력 등을 고려한 실험이 필요하다.

(2) 개발된 압력제어벨브 모델을 이용하여 CVT 시스템 전체에 대한 해석이 필요하며, 다이내모 또는 실차 실험을 통한 검증이 필요하다.

참고문헌

- [1] M. Boos and H. Mozer, "ECOTRONIC-The Continuously variable ZF Transmission(CVT)," *SAE* 970685, 1997.
- [2] 김달철, 김현수, "금속 벨트 CVT 변속비 제어화," 한국자동차공학회논문집, 제 8 권, 제 4 호, pp. 100-109, 2000.
- [3] 최득현, 김현수, "압력제어방식 금속 벨트 CVT 변속

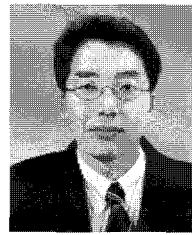
특성 해석," 한국자동차공학회논문집, 제 9 권, 제 5 호, pp. 179-187, 2001.

- [4] 김정철, "자동차용 변속기 분야의 개발 동향," 자동차 공학회지, 2020권, 제 5 호, pp. 15-25, 1998.
- [5] T. Shibayama, "Development of new-generation belt CVTs with high torque capacity for front-drive cars," *SAE* 2003-01-0593, 2003.
- [6] M. G. Gabriel, *Innovations in Automotive Transmission Engineering*, SAE, 2004.
- [7] AMESim, *Hydraulic Library ver. 4.1*, IMAGINE, 2003.
- [8] *AMESim User's Manual ver. 4.1*, IMAGINE, 2003.



김 중 배

1986년 연세대 기계공학과 졸업. 1989년 동 대학원 석사. 1993년 동 대학원 박사. 1997년~현재 동양공업전문대학 기계설계과 부교수. 관심분야는 제어공학, 신호처리.



윤 영 환

1989년 부산대 기계공학과 졸업. 1991년 동 대학원 석사. 2002년 경희대 기계공학과 박사. 1990년~1999년 만도기계, 1999년~현재 (주)신호시스템 이사. 관심분야는 시스템 엔지니어링 및 모델링, 실시간 제어.