

블리드 방식 가변력 솔레노이드를 사용한 라인압력 제어계의 실험적 연구

최득환¹, 진영욱^{2*}

An Experimental Study on the Transmission Line Pressure Control System Using Bleed Type Variable Force Solenoid

Deuk-Hwan Choi¹ and Young-Wook Chin^{2*}

요 약 블리드 방식의 가변력 솔레노이드를 사용한 자동차용 변속기의 라인압력 제어계에 대한 실험 장치를 구성하고 실험을 수행하였다. 라인압력 제어계의 유압회로를 라인압력 제어 밸브, 감압 밸브, VFS 및 어큐뮬레이터 그리고 여러 개의 오리피스들로 구성하였으며, 몇 가지 실험 조건에 대하여 라인압력 제어계의 드로틀 압력과 라인압력의 정적 응답 및 동적 응답성을 측정하고 고찰하였다.

Abstract The line pressure control system for an automotive transmission in which a bleed type variable force solenoid(VFS) is applied, has been constructed and experimentally investigated. The hydraulic circuit of the system includes a line pressure control valve, a reducing valve, an accumulator, various orifices and a VFS. Static and dynamic responses of the throttle and line pressure have been monitored and discussed for various test conditions.

Key Words : Line pressure(라인압력), Throttle pressure(드로틀 압력), Variable force solenoid(가변력 솔레노이드)

1. 서론

대부분의 자동차용 자동변속기들은 변속기 내부에 포함된 유압시스템에 의하여 내부적인 변속을 수행한다. 오일펌프 및 밸브 바디(valve body)로 구성된 변속기의 유압 계통은 변속기가 필요로 하는 여러 종류의 압력, 즉 라인압력, 변속 압력, 클러치 작동 압력, 그리고 윤활 압력 등을 생성하여 변속기를 내부적으로 작동시키는 기능을 수행한다. 유압 계통에서 만들어 내는 여러 압력 가운데 라인압력은 변속기에서 가장 기본이 되는 압력으로서 대부분의 경우 라인 압력은 엔진 토크와 변속 상태에 따라 가변적인 값을 갖는 것이 요구되어 진다. 이렇게 운전 조건에 따라 가변적이며 동시에 안정적인 라인압력을 생성하려면 전자 제어 방식을 채택하는 것이 매우 편리하며 실제로 최근에 개발되고 있는 변속기들은 모두 전자

제어 방식을 사용하고 있다.

전자 제어 방식을 채택하는 변속기 유압시스템^{1,2,3}에서는 전압 듀티 또는 전류에 의하여 제어되는 소형 액츄에이터(actuator), 즉 솔레노이드 밸브 또는 스텝 모터 등을 사용하여 파일럿 압력(pilot pressure)을 생성하고 이 압력을 라인압력 제어 밸브에 작용시켜 파일럿 압력에 비례한 라인압력을 생성하는 것이 일반적이다. 이 때 사용하는 액츄에이터의 종류는 변속기 라인압력 제어계를 구성하는 데에 있어서 매우 중요한 요소가 된다. 일반적으로 자동차용 자동변속기 또는 CVT(continuously variable transmission)의 유압시스템에는 파일럿 압력 생성용 액츄에이터로서 펄스 폭 변조 솔레노이드(PWM solenoid) 밸브, 배출 방식 VFS, 그리고 비례제어 솔레노이드 밸브 등이 사용될 수 있다. 이 중 본 연구에서 적용하고자 하는 배출 방식 VFS는 PWM 솔레노이드 밸브에 비하여 성능 면에서 우수한 반면 가격 면에서는 비례제어 솔레노이드 보다 저렴한 장점을 갖는다. 한편, 라인압력 제어계에서는 라인압력의 동적 특성이 파일럿 압력 발생용 액츄에이터의 성능과 더불어 라인압력 제어 밸브

¹선문대학교 기계공학부

²한국기술교육대학교 기계정보공학부

*교신저자: 진영욱(youngjin@kut.ac.kr)

의 형상 그리고 유압 회로의 구성에 따라 영향을 받는다. 또한 이외의 여러 인자들, 즉 오일의 점도, 밸브의 형상, 유로의 길이 등도 라인압력의 동적 특성에 많은 영향을 주게 된다. 일반적으로 라인압력은 이상의 여러 가지 인자들의 미세한 값 변화에 의하여 민감하게 반응하므로 해석적 접근이 쉽지 않은 특징이 있다.

본 연구에서는 파일럿 압력을 생성시키기 위한 액튜에이터로서 배출 방식의 VFS(variable force solenoid: 가변력 솔레노이드)를 적용한 라인압력 제어 시스템을 구성하고, VFS에 의하여 생성되는 파일럿 압력, 즉 드로틀 압력(throttle pressure)과 라인압력(line pressure)에 대한 특성을 실험을 통하여 고찰하고자 하였다. 연구를 위하여 실험용 밸브바디(valve body)와 실험 장치를 제작하였고 실험은 밸브 바디 단체의 경우와 밸브 바디와 변속기가 결합된 상태 2가지에 대하여 수행하였다.

2. 라인압력 제어계의 구성

[그림 1]은 본 연구에서 대상으로 하는 변속기의 라인압력 제어계의 유압 회로도를 나타낸다. 여기에서 적용하고 있는 유압 회로는 F4E-K형 자동변속기⁴⁾에 적용된 형태와 유사하며 그림에서 보여 지는 바와 같이 라인압력 제어 밸브, 감압 밸브, VFS 및 어큐뮬레이터 그리고 여러 개의 오리피스들로 구성된다. 본 시스템에서 적용하고 있는 라인압력 제어의 기본 원리는 먼저 VFS를 사용하여 파일럿 압력인 드로틀 압력(throttle pressure)을 형성하고 이 드로틀 압력을 릴리프(relief) 방식의 스플 밸브⁵⁾인 라인압력 제어 밸브에 작용시켜서 최종적으로 라인압력을 얻는 방식이다.

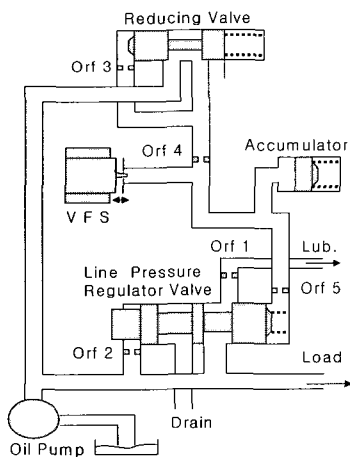


그림 1. 라인압력 제어계의 유압회로

본 유압 회로를 구성하는 각 요소의 역할을 상세히 살펴보면, 라인압력 제어 밸브는 오일펌프로부터 생성된 유량의 압력, 즉 오일펌프와 유로가 연결되어 있는 곳의 유압을 변속기의 요구 압력인 라인압력으로 조정하는 기능을 담당한다. 라인압력 제어 밸브의 좌측 압력실에는 드로틀 압력이 작용하고 우측 압력실에는 라인압력 자체가 작용하여 이 2가지 힘의 균형에 의하여 배출 포트의 여닫음 및 배출 유량을 제어함으로써 최종 라인압력이 생성된다.

다음 감압 밸브는 드로틀 압력을 생성시키기에 앞서 라인압력을 일정한 압력으로 낮추어서 VFS에 공급하는 역할을 수행한다. 감압 밸브의 작동은 밸브를 통과한 유체 압력이 밸브 스프링의 초기 하중 값과 평형을 이루도록 작동한다. 즉 밸브를 통과한 유체 압력이 밸브 설정 값보다 클 경우에는 밸브가 닫히게 작동하고 반대의 경우에는 통과 포트가 열리게 되어 유체 통과 유량이 증가한다.

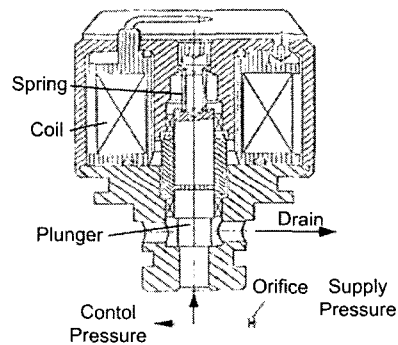


그림 2. VFS의 구조

VFS의 기능은 감압 밸브에 의하여 조정된 압력을 입력 듀티율(duty ratio)에 비례한 압력, 즉 드로틀 압력으로 변환하는 역할을 수행한다. Fig. 2는 여기에서 사용하고 있는 VFS의 구조 및 적용 방법을 나타낸다. 배출방식 VFS는 입력전류에 따라 배출 포트를 여닫음으로써 배출 유량을 제어한다. 배출 유량이 클 경우에는 솔레노이드에 의하여 형성되는 작용압력이 낮게 유지되고 배출 유량이 작을 경우에는 반대로 작용압력이 증가하게 된다. 이 솔레노이드의 작동은 플런저 끝단에 작용하는 제어 유압과 코일에 흐르는 전류 값에 비례한 전자기력의 합이 반대편의 스프링 힘 보다 클 경우에 플런저(plunger)가 이동하고 이에 따라 제어 측의 유량을 배출하는 방식으로 이루어진다. 본 연구에서 사용한 VFS는 작동 전압이 5 volt 이고 듀티 주파수는 600Hz로써 고주파 듀티를 사용하기 때문에 전류 제어 솔레노이드와 유사한 특성을 갖는다.

마지막으로 어큐뮬레이터는 가변력 솔레노이드에 의하여 생성되는 스톱압력의 맥동을 저감시키는 역할을 수행한다. 블리드 방식의 가변력 솔레노이드 밸브 또는 펄스폭 변조방식의 솔레노이드 밸브를 변속기의 압력제어 용도로써 사용할 경우에는 압력맥동의 가능성이 높으므로 어큐뮬레이터의 설치가 바람직하다.

3. 실험 및 결과

본 연구에서는 라인압력 제어계의 성능을 검증하고 해석 결과와의 비교를 위하여 [그림 1]의 유압 회로를 구현하는 밸브 바디를 제작하여 실험을 수행하였다. [그림 3]은 제작된 밸브 바디의 외관 모습이고 [그림 4]는 변속기 라인압력을 실험하기 위하여 설치한 밸브바디 실험장치의 개략도이다. 실험장치는 밸브바디를 고정할 수 있는 밀폐된 공간과 유압펌프, 온도조절장치, 솔레노이드 듀티 발생장치 및 측정 장치로 구성된다. 라인압력은 밸브바디 상태에서 실험이 가능하므로 이와 같이 밸브바디만을 변속기와 분리하여 실험하는 것이 편리하다. 실험은 밸브바디 실험장치에 설치된 오일펌프에 의하여 밸브 바디에 유압을 공급하고 VFS를 듀티 발생 장치에 의하여 구동시키면서 라인압력을 측정하는 방법으로 수행하였다.

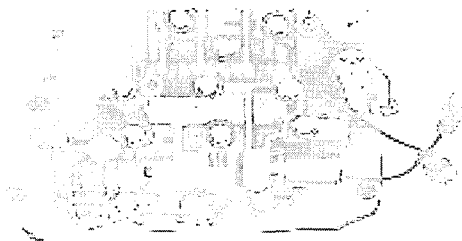


그림 3. 라인압력 제어 실험용 밸브 바디

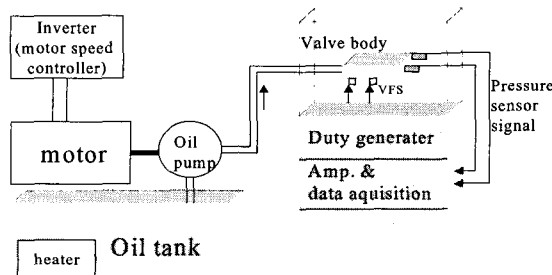


그림 4. 밸브바디 실험장치

[그림 5]는 솔레노이드 입력 듀티율에 따른 라인압력과 솔레노이드 압력의 정상 상태 실험 결과이다.

실험은 공급 유량을 일정하게 유지한 상태에서 솔레노이드 입력 듀티율을 변화시켜 가면서 수행하였다. 듀티율이 증가할 경우와 감소할 경우에 라인압력 값이 약간의 히스테리시스 현상을 보이고 있다. 솔레노이드 입력 듀티율이 20% 이하와 55% 이상에서는 입력 듀티율이 변화하여도 라인압력이 변화하지 않는 무효율 구간을 갖는다. 따라서 실제 라인압력의 제어구간은 듀티율이 20~55% 일 경우에만 가능하다.

[그림 6]은 작동 오일의 온도를 변화한 조건에서 듀티율에 대한 라인압력의 정상상태 실험 결과이다. 오일 온도가 60℃일 경우 20℃에 비하여 듀티율이 낮은 영역에서 최고압력이 약간 감소하는 현상을 볼 수 있다. 이것은 온도가 상승할 경우 오일의 점도가 낮아져 밸브바디 내의 누설 유량이 증가하기 때문에 발생하는 현상으로 추정된다. 실제 차량 운전 조건에서 CVT의 오일 온도는 -20℃ 정도에서 120℃ 정도까지의 범위에서 변화하므로 각 온도별로 라인압력 정상상태 실험을 수행하여 데이터를 확보할 필요가 있다.

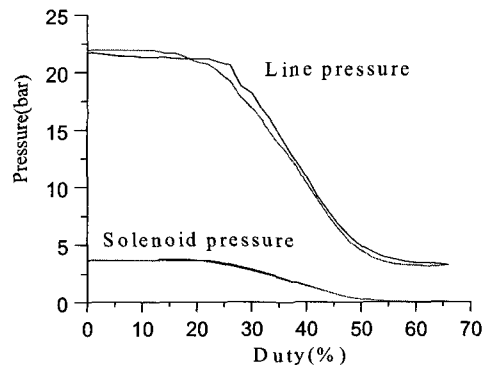


그림 5. 라인 압력과 솔레노이드 압력

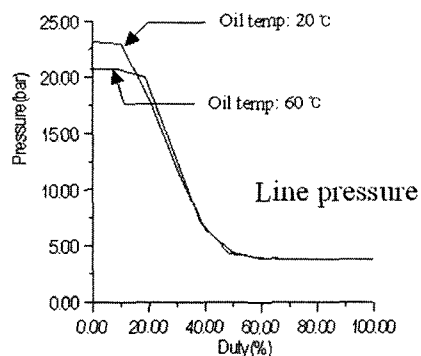


그림 6. 오일온도가 라인 압력에 미치는 영향

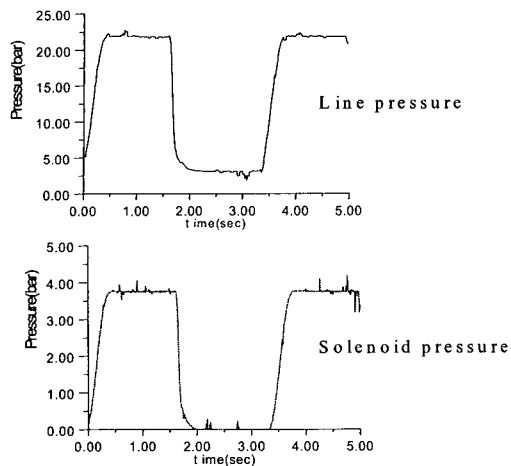


그림 7. 라인압력 및 솔레노이드 압력의 응답성

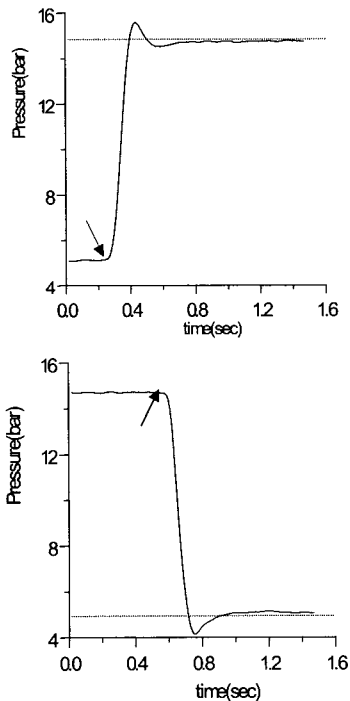


그림 8. 밸브바디와 변속기가 결합된 상태에서 라인압력의 응답성

[그림 7]은 피드백이 없는 개루프 상태에서 라인압력의 추종성을 확인하기 위하여 솔레노이드에 사각형(square) 형태의 듀티 입력을 가하였을 때의 라인압력 및 솔레노이드 압력의 응답 결과이다. 여기서 솔레노이드 압력의 응답시간은 약 0.3sec 정도를 보이고 있으며 오버슈트(overshoot) 현상은 발생하지 않고 있다. 라인압력의 응답은 솔레노이드 압력의 응답과 거의 동일 위상으로 나

타나고 있다. 라인압력과 솔레노이드 압력 간의 위상차가 거의 보이지 않고 있는 것으로 볼 때 라인압력의 응답속도는 솔레노이드 밸브의 응답성에 의하여 결정된다고 판단된다. 실제 차량 운전 조건에서 라인압력의 응답은 가능하면 빠른 것이 유리하다. 단, 라인압력의 응답이 빠를 경우 압력 맥동이 발생할 가능성은 높아진다. 본 개발에서는 라인압력의 맥동 발생을 방지하기 위하여 어큐뮬레이터를 적용하고 있고 어큐뮬레이터의 작동에 의하여 라인압력의 응답시간이 다소 지연된 것으로 추정된다.

[그림 8]은 밸브바디를 변속기 본체에 결합한 상태에서 라인압력의 응답성을 계단입력에 대하여 확인한 결과이다. 그림에서 화살표로 표시한 부분이 솔레노이드에 전류가 가하여 지는 입력 시점이다. 입력라인압력의 응답시간은 밸브바디 단품에서의 결과와 거의 동일하게 나타나고 있으며 라인압력의 맥동 현상 역시 발생하고 있지 않다. 단, 이 경우 라인압력이 약간의 오버슈트 및 언더슈트를 나타내고 있다. 이 경우에 오버슈트가 발생하는 것은 변속기 내부 회로들에 채워져 있는 유체 체적의 관성과 압축 효과에 의한 것으로 추정된다.

4. 결론

블리드 방식의 가변력 솔레노이드 밸브를 사용한 자동 차용 변속기의 라인압력 제어계를 구성하고 밸브 바디 단체의 경우와 밸브 바디와 변속기가 결합된 상태에 대하여 드로틀 압력과 라인압력에 대한 정적 응답 실험 및 동적 응답 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 밸브 바디 단체에 대하여 라인압력의 정상상태 응답 실험을 수행한 결과, 솔레노이드 듀티율이 20% 이하 및 55% 이상에서 무효율 구간이 존재함을 확인하였으며 유온 변화에 대한 정상상태 실험 결과, 유온 상승시 솔레노이드 듀티율 25% 이하 영역에서 라인압력이 감소하는 현상을 확인하였다.
- 2) 밸브 바디 단체에 대하여 라인압력의 동특성 실험을 수행한 결과, 라인압력의 응답시간은 약 0.3 sec로서 실차에서 요구하는 수준에 근접한 특성을 나타내었다. 라인압력의 응답이 솔레노이드 압력의 응답과 거의 동일 위상으로 나타는 것으로 볼 때 라인압력의 응답속도는 솔레노이드 밸브의 응답성에 의하여 결정된다고 판단된다.
- 3) 밸브바디를 변속기 본체에 결합한 상태에서 라인압력의 응답성을 계단입력에 대하여 확인한 결과, 입력라인압력의 응답시간이 밸브바디 단품에서의 결과와 거의 동일하게 나타났다. 다만 라인압력에 약간의 오버

슈트 및 언더슈트를 나타냈는데, 이는 변속기 내부 회로들에 채워져 있는 유체 체적의 관성과 압축 효과에 의한 것으로 추정된다.

참고문헌

- [1] Yoshiaki Katoh, "Application of Electrohydraulic Control Valves to Automatic Transmissions-An Approach to Improving Shift Quality", SAE Paper 912487
- [2] Kurt Neuffer, Kurt Engelsdorf, Werner Brehm "Electronic Transmission Control-From Stand Alone Components to Mechatronic Systems", SAE Paper 960430
- [3] Koji Hasunaka, Koshi Takagi, Sinji Watanabe, "A study on Electro-Hydraulic Control for Automatic Transmission", SAE Paper 892000
- [4] Sephia II 정비지침서, 기아자동차, pp42-49, 1997
- [5] Herbert E. Merritt, Hydraulic Control Systems, John Wiley & Sons, Inc., 1967

최 득 환(Dook-Hwan Choi)

[정회원]



- 1980년 2월 : 서울대학교 기계설계학과(공학사)
- 1982년 2월 : 서울대학교 기계설계학과(공학석사)
- 1991년 4월 ~ 2000년 2월 : 기아자동차 연구소(선임연구원)
- 2002년 2월 : 성균관대학교 기계공학과(공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학과 객원교수

<관심분야> : 자동차 파워트레인, 하이브리드 자동차 동력시스템

진 영 욱(Young-Wook Chin)

[정회원]



- 1982년 2월 : 서울대학교 기계공학과 (공학사)
- 1984년 2월 : 서울대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : Univ. of Texas at Austin 기계공학과(공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계정보공학부 부교수

<관심분야> : 열유체 시스템, 동력시스템