

고속 전자 밸브의 특성 해석

An Analysis of the Characteristics of the High Speed Electromagnetic Valve

송 창 섭\*, 이 용 주\*\*, 유 세 준\*\*

ABSTRACT

To reduce the shock in shifting, the clutches and the brakes in automatic transmission have to be connected smoothly and disconnected rapidly. It is PCSV(Pressure Control Solenoid Valve) that play this role of automatic transmission. In this paper, there were two steps in the analysis of the PCSV. The first step was modeling the elctromagnet by the permeance method. The second step was modeling the hydraulic circuit by the pressure differential equation. In addition to this modeling, a experiment was performed and the commercial package program was used in order to justify modeling. The result of modeling coincide with the result of experiment and commercial package program. As a result, this modeling is usable in analysis of dynamic characteractic of the PCSV.

1. 서론

자동 변속기의 파워 트레인온 엔진으로부터의 동력을 트랜스미션에 전달하는 토오크 컨버터부와 적절한 회전력을 얻기 위한 변속 기구로 구성되어 있다. 변속 기구는 프론트 클러치, 리어 클러치, 앤드 클러치, 킥다운 서보, 로우리버스 브레이크 등으로 구성되어 있는데 이러한 작동 요소에 의해 유성치차 기구의 어느 곳을 작동시키고 어느 곳을 고정시키는가에 따라 운전 조건에 맞는 변속 비를 얻을 수 있다. 그러나 변속 시에는 쇼크가 발생하고 이 쇼크를 줄이기 위해서는 이들 작동 요소들을 부드럽게 연결하고 신속히 분리시켜 주어야 하는데 전자식 자동변속기에서는 이러한 역할을 얻기 위해서 고속 전자석을 사용한 솔레노이드 밸브가 사용되어진다. 이 솔레노이드 밸브가 자동변속기 내의 클러치 및 브레이크에 작용하는 유압을 최적의 상태가 되도록 제어해서 변속 시의 승차 감을 향상시켜 주는 것이다.

본 논문에서는 자동변속기의 전기·유압 액추에이터로서 사용되어지는 압력 제어 솔레노이드 밸브(PCSV)의 구동장치인 고속 전자석과 유압 회로 내의 동특성을 해석하여 성능을 예측하고 설계 기술을 얻는데 그 목적이 있다.

2. 전자석 부분의 모델링<sup>(1)</sup>

PCSV는 고속 전자석을 사용한 2방향형 밸브로 35Hz의 주파수로 구동되며, 밸브의 1주기 동안에 ON-OFF 동작의 비율을 달리하여 유압을 펄스 적으로 제어한다.

변속 제어장치에서 압력 제어 솔레노이드 밸브(PCSV)로 전

기적인 ON-OFF 신호(duty signal)를 보내면 플런저의 ON-OFF 변화에 의해 export 유로가 형성되어 1 차압이 조절된다. 1 차압의 조절에 의하여 압력 제어 밸브(PCV)가 움직여 2 차압이 듀티비에 따라 조정된다. 2 차압이 자동 변속기 내의 클러치와 브레이크에 제어압으로 작용하게 된다.<sup>(2)</sup>

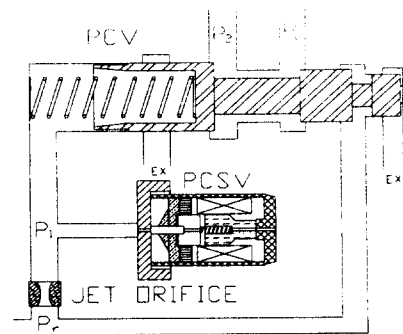


Fig.1 Hydraulic circuit from jet orifice to PCV

2.1 가정자로법에 의한 해석<sup>(3)</sup>

전자석의 솔레노이드에 전류가 흐르면 자속(flux)이 발생하여 자속이 표면(case)에서 가이드 철심(disk), 플런저(plunger), 코어(core)로 흘러 플런저와 코어, 플런저와 가이드 철심 사이의 공극(air gap)에 자기에너지(magnetic energy)가 축적된다.

즉 전자석의 솔레노이드에 가해 준 전기에너지가 공극을 자화시키는 자기에너지로 변환되는 것이다.

\* 한양대학교 정밀기계공학과 교수

\*\* 한양대학교 정밀기계공학과 대학원

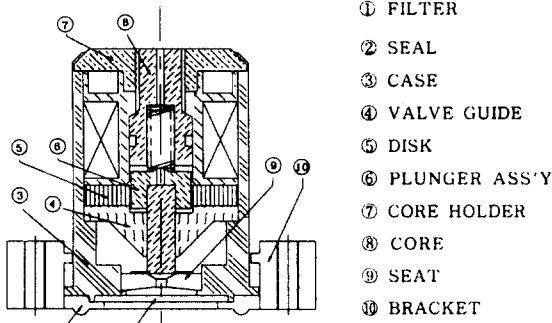


Fig.2 Vertical sectional view of PCSV

2.1.1 이론적 해석

발생 전자력은 전자석을 구성하는 철심의 재질, 치수, 코일의 감긴 횟수, 입력 전압 등의 여러 인자들에 따라서 결정된다. 이 힘을 가정자로법으로 구하기 위해서는 전자석을 하나의 자기 회로 방정식으로 표현하여, 외부로부터 공급되는 기자력을 철심에서의 소모기자력,  $U_s$  과 공극에서의 소모기자력,  $U_a$ 으로 나누어서 해석한다. 철심에서의 소모기자력은 자로 길이,  $L[ i ]$  와 자계강도,  $H_i$ 의 곱으로 표현될 수 있고, 공극에서의 소모기자력은 자속,  $\phi_0$ 과 공극 전체의 퍼미언스(permeance),  $P_s$ 로 표현될 수 있다.

$$NI = \sum_{i=1}^n H_i L[ i ] + \frac{\phi_0}{P_s} = U_s + U_a \quad (2-1)$$

여기서,  $N$  : 코일의 권선수  $I$  : 전류이다.

PCSV의 플런저가 움직이면서 공극에 저장되는 자기 에너지의 변화량,  $dW$  는 직류 전자석인 경우에 식 (2-2)로 표현된다.

$$dW = \frac{1}{2} U_a^2 dP \quad (2-2)$$

자기에너지의 변화량,  $dW$ 는 플런저의 변위,  $x$ 에 따라 나타나므로 식 (2-3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_m = - \frac{dW}{dx} \quad (2-3)$$

전자석의 플런저와 코어 사이에서 발생하는 전자력은 식 (2-2)와 식 (2-3)을 연립해서 식 (2-4)로 표현된다.

$$F_m = - \frac{1}{2} U_a^2 \frac{dP}{dx} \quad (2-4)$$

2.1.2 공극의 퍼미언스 분포 및 철심의 소모 기자력

퍼미언스 값은 가정자로법으로 구하였으므로 공극을 3가지의 기하학적 모양으로 나누어서 구하게 되며, 자로 길이는 단면 모양이 같은 부분에서는 자속이 같으므로 단면이 같은 곳까지의 길이를 나타낸 것이다.

$$P_A = P[ 1 ] + P[ 2 ] + P[ 3 ] + P[ 4 ]$$

$$P_B = P[ 5 ] + P[ 6 ] + P[ 7 ] + P[ 8 ] + P[ 9 ]$$

Fig.3은 플런저의 위치에 따른 공극의 퍼미언스 분포를 나타내었고, Fig.4는 자속의 흐름을 가정해서 자로 길이를 나타낸 것이다.

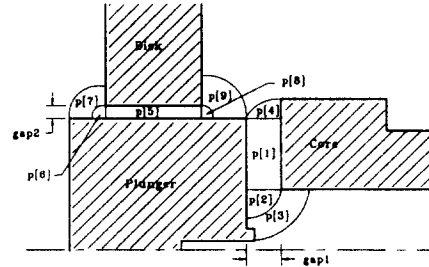


Fig.3 Modeling of permeance in air gap

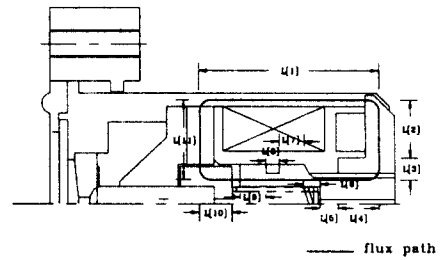


Fig.4 Magnetic flux line of PCSV

$P_A$ 와  $P_B$ 는 서로 직렬로 연결되어 있으므로 전체 퍼미언스,  $P_s$ 는 식 (2-5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_s = \frac{P_A \times P_B}{P_A + P_B} \quad (2-5)$$

철심에서의 소모기자력과 공극에서의 소모기자력은 모두 자속  $\phi_0$ 의 함수이므로, 외부 공급기자력과 일치하는 소모기자력을 만드는 자속  $\phi_0$ 를 결정할 수 있다.

Fig.3에서 퍼미언스 1, 2, 3, 4가 서로 병렬로 연결되어 있으므로 전체 자속  $\phi_0$ 는 퍼미언스의 크기에 비례해서 흐르고, 각 퍼미언스에서의 기자력은 모두 같다. 퍼미언스 5, 6, 7, 8, 9도 마찬가지로의 결과가 되어 PCSV의 전자력을 나타내는 식 (2-6)을 얻는다.

$$F_m = - \frac{1}{2} \phi_0^2 \left( \frac{1}{P_A^2} \sum_{i=1}^4 \frac{dP_i}{dx} + \frac{1}{P_B^2} \sum_{i=5}^9 \frac{dP_i}{dx} \right) \quad (2-6)$$

2.2 유한 요소법을 이용한 해석

압력 제어 솔레노이드 밸브의 정자장을 유한요소법을 사용하여 해석하였다.

2.2.1 유한요소법의 정식화

맥스웰 방정식에 의해 식 (2-7)과 (2-8)이 주어진다.

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} \quad (2-7)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2-8)$$

여기서,  $\mathbf{J}$  : 전류밀도  $\mathbf{B}$  : 자속밀도이다.

자속밀도와 자계강도와와의 관계에서 식 (2-9)를 얻을 수 있다.

$$\mathbf{B} = \mu_0(\mu_r \mathbf{H} + \mathbf{M}_0) \quad (2-9)$$

여기서,  $\mu_0$  : 진공중의 투자율 ( $4\pi \times 10^{-7}$  [wb])

$\mu_r$  : 비투자율  $\mu_0 \mathbf{M}_0$  : 잔류 자속밀도이다.

이때 자기 벡터 퍼텐셜(Magnetic vector potential),  $\mathbf{A}$  를 도입할 수 있다.

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} \quad (2-10)$$

식 (2-7)에서 식 (2-10)까지를 연립해서 정리하면 식 (2-11)을 얻을 수 있고 이를 Poisson 방정식이라 한다.

$$\nabla \times \mathbf{H} = \nabla \times (\nu \nabla \times \mathbf{A}) - \nabla \times \left( \frac{\nu}{\nu_0} \mathbf{M}_0 \right) = \mathbf{J} \quad (2-11)$$

여기서,  $\nu = \frac{1}{\mu_0 \mu_r} = \text{reluctivity}$

$\nu_0 = \frac{1}{\mu_0} = \text{free space reluctivity}$ 이다.

$\nabla \cdot \mathbf{A} = 0$  인 Coulomb Gauge를 채택해서 식 (2-11)을 정리하면 (2-12)와 같은 2 차원 축대칭 정자장의 지배방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \nu \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \nu \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial y} \right] = \mathbf{J} + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{\nu}{\nu_0} \mathbf{M}_0 \right] - \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\nu}{\nu_0} \mathbf{M}_0 \right] \quad (2-12)$$

유한요소법을 적용하기위한 에너지 범함수는 식 (2-13)과 같이 표시된다.

$$\chi(\mathbf{A}) = \int_{\Omega} \left[ \int_0^B \nu \left( \mathbf{B} - \frac{\mathbf{M}_0}{\nu_0} \right) \cdot d\mathbf{B} \right] d\Omega - \int_{\Omega} \mathbf{A} \cdot \mathbf{J} d\Omega \quad (2-13)$$

해석 영역  $\Omega$  는 유한 요소로 나누어지고 각각의 요소에서 장(field)문제의 근사적인 해가 퍼텐셜 함수  $\mathbf{A}$  의 nodal value 향으로 규정된다.

$$\mathbf{A}(x, y) = \mathbf{N}^T \mathbf{A}_e \quad (2-14)$$

여기서,  $\mathbf{N}$  : 형상 함수(shape function)

$\mathbf{A}_e$  : element nodal potential vector이다.

식 (2-14)를 (2-13)에 대입해서 정리하고  $\chi(\mathbf{A})$ 를 최소화 하는 조건을 구해서 해를 구하면 된다. 비선형성 때문에 수렴해를 얻기 위해 Newton-Raphson method 에 기초를 둔 반복기법(iterative procedure)을 사용한다.

### 2.2.2 전자력의 계산

전 체적이  $V$  인 물체에 작용하는 힘은 식 (2-15)에서 구할 수 있다.

$$\mathbf{F} = \int_V \mathbf{f} = \int_V \mathbf{J} \times \mathbf{B} = \int_V \frac{1}{\mu} (\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B} dV \quad (2-15)$$

벡터 항등식을 이용하여 식 (2-15)를 변형하면 식 (2-16)이 된다.

$$\mathbf{F} = \int_V \frac{1}{\mu} \left[ (\mathbf{B} \cdot \nabla) \mathbf{B} - \frac{1}{2} \nabla B^2 \right] dV \quad (2-16)$$

Green 공식을 이용해서 면적분을 선적분으로 변형해서 정리하면 식 (2-17)이 되며 식 (2-17)에서 전자력을 구할 수 있다.

$$\mathbf{F} = \int \boldsymbol{\tau} ds \quad (2-17)$$

여기서,  $\boldsymbol{\tau}$  : Maxwell stress tensor이다.

### 2.2.3 상용 프로그램을 이용한 해석 결과와의 비교

본 연구에서는 압력 제어 솔레노이드 밸브의 전자력을 유한요소법을 사용하는 상용 프로그램인 Maxwell<sup>(6)</sup> 과 ANSYS<sup>(7)</sup> 를 사용해 구하고 이 결과를 가정자료를 사용해서 만든 PCSV의 시뮬레이션 프로그램 결과와 비교하여 보았다.

Fig.5는 전류가 각각 0.2 [A], 0.6 [A], 1 [A]에서의 Maxwell, ANSYS, 시뮬레이션 프로그램으로 구한 전자력을 비교한 것으로 PCSV의 변위  $x$ 가 증가함에 따라서, 또 전류가 증가함에 따라서 전자력도 증가하므로 본 논문의 시뮬레이션 프로그램이 타당함을 알 수 있었다.

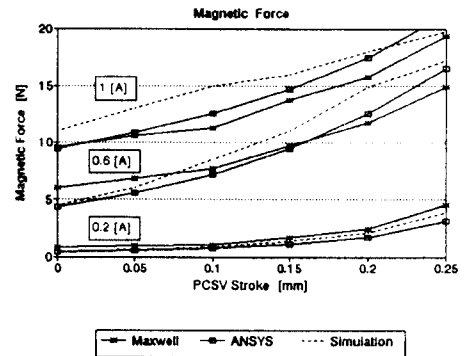


Fig.5 Comparison of magnetic force

## 3. 유압 제어장치의 모델링

자동변속기의 유압 제어 기본 장치는 오일 팬, 오일 펌프, 밸브 기구 및 유압 작동 요소로 구성되어 있다. 오일 펌프가 오일 팬에서 흡입한 오일은 밸브 기구에서 압력이 조정된 후 변속기 내부의 클러치 또는 브레이크의 작동 요소에 공급된다.

### 3.1 압력 방정식

오일 펌프에서 발생한 유압은 레귤레이터 밸브를 거쳐 일정한 라인압(약 0.833 [MPa])으로 되고 다시 리듀싱 밸브를 거치면서 더욱 낮아진 일정한 리듀싱압(약 0.4165 [MPa])으로 유지된다. 리듀싱압이 제트 오리피스를 통과하는 유량,  $Q_0$ 는 식 (3-1)과 같다.

$$Q_o = C_{do} \frac{\pi}{4} D_o^2 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_r - p_1)} \quad (3-1)$$

여기서,  $D_o$  : 제트 오리피스의 지름  $C_{do}$  : 유량계수  
 $p_r$  : 리두압  $p_1$  : 1차압이다.

PCSV를 모델링 하는데 있어서 밸브 시트와 플런저 개구면 적을 일종의 오리피스로 생각했다. 따라서 밸브 시트를 통과 해서 PCSV내부로 들어가는 유량,  $Q_{pi}$ 는 식 (3-2)와 같다.<sup>(8)</sup>

$$Q_{pi} = C_{di} \frac{\pi}{4} D_s^2 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_{ch})} \quad (3-2)$$

여기서,  $D_s$  : 밸브 시트 구멍의 지름

$p_{ch}$  : PCSV 플런저에 작용하는 압력이다.

PCSV 내부에서 플런저 개구면적으로 빠져나가는 유량,  $Q_{po}$ 는 식 (3-3)과 같다.

$$Q_{po} = C_{do} \pi D_p x \sin \alpha \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{ch})} \quad (3-3)$$

여기서,  $D_p$  : 플런저 지름

$\alpha$  : 플런저와 밸브 시트의 각도이다.

1차압에 대한 압력 미분방정식은 연속 방정식(continuity equation)<sup>(8)</sup>으로 부터 다음과 같이 구해진다.

$$\frac{dp_1}{dt} = \frac{\beta}{V_1} (Q_o - Q_{pi} + A_{PCV} V_{PCV}) \quad (3-4)$$

여기서,  $V_1$  : 1차압 관로의 체적  $A_{PCV}$  : PCV의 단면적  
 $V_{PCV}$  : PCV의 속도이다.

식 (3-4)에서 PCV가 고정되어 있다고 가정하면 우변 세번째 항을 생략할 수 있다.

PCSV 플런저에 작용하는 압력,  $p_{ch}$ 의 압력 미분 방정식은 식 (3-5)와 같다.

$$\frac{dp_{ch}}{dt} = \frac{\beta}{V_{ch}} (Q_{pi} - Q_{po} - \frac{\pi}{4} D_p^2 \frac{dx}{dt}) \quad (3-5)$$

## 3.2 PCSV 의 운동 방정식

### 3.2.1 PCSV의 유동력

유동력은 베르누이 힘(Bernoulli forces)이라고도 하며 유체를 흐르게끔 하는 데 필요한 힘이다.<sup>(5)</sup> 유동력은 식 (3-6)과 같다.

$$F = \int_{c.s} \mathbf{v}(\rho \mathbf{v} \cdot d\mathbf{A}) + \frac{\partial}{\partial t} \int_{c.v} \rho dV \quad (3-6)$$

여기서,  $\mathbf{v}$  : 속도  $\mathbf{A}$  : 면적 벡터  $V$  : 체적이다.

밸브에 작용하는 힘은 주로 정상유동력에 의존하므로 과도 유동력을 무시하면 식 (3-7)과 같다.

$$F = \rho \frac{Q_{po}^2}{A_2} \cos \alpha - \rho \frac{Q_{pi}^2}{A_1} \quad (3-7)$$

여기서,  $A_2 = C_{co} \pi D_p x \sin \alpha$   $A_1 = C_{ci} \frac{\pi}{4} D_s^2$  이다.

유체가 플런저에 작용하는 힘은  $F$ 의 반력이므로 식 (3-8)과 같다.

$$F_f = \frac{\pi}{2} D_s^2 C_{ci} C_{vi} (p_1 - p_{ch}) - 2 C_{do} C_{vo} \pi D_p x \sin \alpha \cos \alpha (p_{ch}) \quad (3-8)$$

여기서,  $C_{ci}$  : 수축 계수(contraction coefficient)

$C_{vi}$  : 속도 계수(velocity coefficient)이다.

힘  $F_f$ 는 스프링에 의한 탄성력과 같이 항상 밸브를 닫는 방향으로 작용한다.

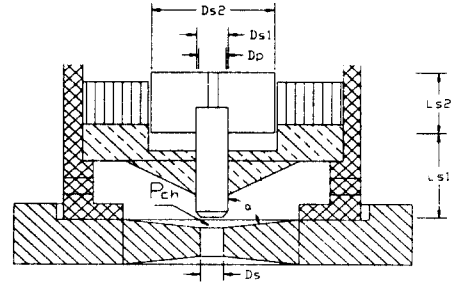


Fig.6 Schematic diagram of plunger

### 3.2.2 PCSV의 점성력

유체가 가지는 점성은 PCSV 플런저 작동시 댐핑효과를 가져온다. PCSV에서의 점성력은 식 (3-9)와 같이 나타낼 수 있다.<sup>(8)</sup>

$$F_c = \rho \nu \pi \left( \frac{D_{s1} L_{s1} + D_{s2} L_{s2}}{L_{cl}} \right) \frac{dx}{dt} \quad (3-9)$$

여기서,  $L_{cl}$  : 플런저와 가이드의 간극

$D_{s1}$ ,  $D_{s2}$  : 밸브의 지름  $\rho$  : 밀도

$L_{s1}$ ,  $L_{s2}$  : 플런저의 길이  $\nu$  : 동점성 계수이다.

식 (2-6)에서 구한 전자력( $F_m$ ), 식 (3-8)에서 구한 유동력( $F_f$ ), 식 (3-9)에서 구한 점성력( $F_c$ )에 스프링 탄성력과 플런저 작용 압력,  $p_{ch}$ 을 함께 고려하면 식 (3-10)과 같은 PCSV의 운동 방정식을 구할 수 있다.

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_m + F_f - F_c - k(x_0 + x) + \frac{\pi}{4} D_p^2 p_{ch} \quad (3-10)$$

여기서,  $m$  : 플런저의 질량  $k$  : 스프링 탄성계수

$x_0$  : 스프링의 초기 압축 길이이다.

식 (3-10)을 기본 식으로 해서 PCSV의 움직임을 모델링 할 수 있다.

Fig.7은 듀티 50 %일때의 PCSV의 플런저 스트로크와 1차압과의 관계를 시뮬레이션한 것이다. PCSV가 ON시에 1차압이 가장 낮고 OFF시에 가장 높은 것을 알 수 있다.

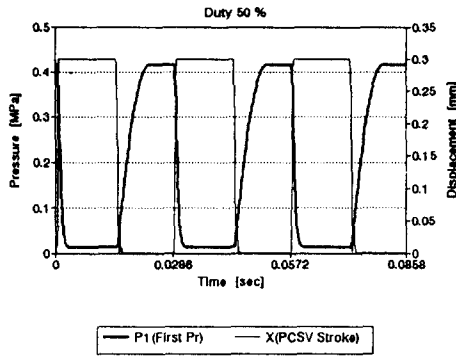


Fig.7 First pressure and stroke at 50 % duty

#### 4. 실험 장치 및 실험 방법

PCSV 모델링의 타당성을 검증하기 위해 변위 측정 실험과 1차압 측정 실험을 수행하였다.

##### 4.1 PCSV의 변위 측정 실험

변위 측정 실험은 플런저에 황동링을 고정시키고 황동링의 움직임을 레이저 변위 측정계를 사용하여 측정하였다. 실험 장치를 보면 자체 제작한 듀티 콘트롤러를 통해 PCSV에 신호를 보내고 플런저의 움직임을 레이저 변위 측정계(KL 133A)를 사용해서 측정하고 이를 A/D Converter(PCL-812)를 통해 데이터로 저장하였다. 실험 방법은 입력 전압을 3.5 V로 일정하게 하고 듀티 콘트롤러에서 듀티 10 %부터 90 %까지 10 %씩 듀티를 증가시키면서 신호를 보낸다. 각 듀티에 따른 플런저의 변위를 측정하여 데이터로 저장하고 이를 변위로 환산하여 시뮬레이션 프로그램의 결과와 비교해 보았다.

##### 4.2 PCSV의 1차압 측정 실험

실험 장치는 듀티 콘트롤러를 통해 PCSV에 신호를 보내고 PCSV의 1차압을 압력 측정 센서(112A21)를 사용해서 측정하고 이를 플로터로 출력하였다. PCSV를 단품으로 장착하여 실험을 했는데 듀티 콘트롤러에서 듀티 30 %, 50 %, 70 %로 신호를 보내고 이때의 1차압의 변화를 측정하여 시뮬레이션 프로그램의 결과와 비교해 보았다.

#### 5. 실험 결과 및 고찰

Fig.8은 50 % 듀티일때의 실험 결과치와 시뮬레이션 결과치를 비교한 것이다. 변위 측정 실험에서는 PCSV 구동 전압을 3.5V로 일정하게 했기 때문에 시뮬레이션 결과와 비교해 보았을 때 ON시는 응답성이 떨어지는 것을 알 수 있다. 그러나 OFF시에는 시뮬레이션 결과와 잘 일치함을 알 수 있다. 이때 유압은 고려되지 않았다.

Fig.9는 50 %의 듀티일때의 1차압 실험치와 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. 1차압 측정 실험에서는 실험 장비상 체트 오리피스 없는 관로에서 실험을 했기 때문에 플런저의

개도에 따라 공급 압력이 영향을 받게 된다. 따라서 정확한 데이터를 얻기 힘들어서 경향을 얻는데 주력하였다.

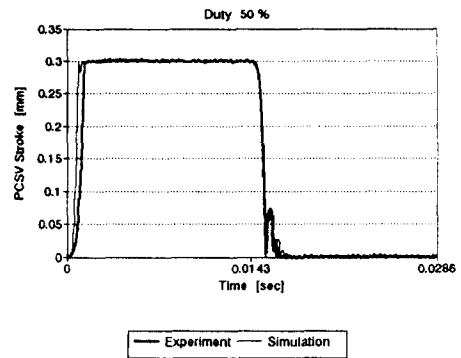


Fig.8 Comparison of stroke at 50 % duty

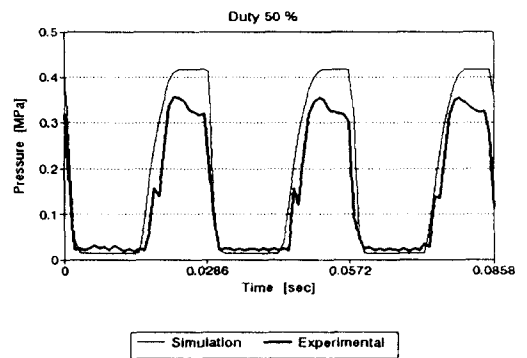


Fig.9 Comparison of the 1st pressure at 50 % duty

PCSV의 설계시에 고려되어야 할 요소들은 크게 전기적 요소와 기계적 요소로 나눌 수 있다. 전기적 요소에는 구동 전압, 코일의 인덕턴스, 코일의 권선수, 저항값등의 요소가 고려되어야 한다. 기계적인 요소에는 플런저의 질량, 스프링의 탄성계수, 밸브 시트 구멍의 크기등이 고려되어야 한다. 그러나 전기적인 요소들은 독립적이지 아니라 서로 연관되어 있고 또한 기계적인 요소와도 상호 관련이 있다. Fig.10은 코일의 권선수를 변화 시켰을 때의 압력 변화를 시뮬레이션 한 것인데 단순히 기저력만 변하는 것이 아니라 코일의 저항과 인덕턴스가 변화해서 전자력이 영향을 받게 된다. 권선수가 증가하면 전자력이 증가해서 플런저의 ON 시간이 길어짐을 알 수 있다. Fig.11은 플런저의 지름을 변화시켰을 때의 유압 특성을 시뮬레이션 한 것이다. 지름이 3.96 [mm]일 때는 ON시의 응답성은 향상되나 OFF시 유압에 의해 플런저에 작용하는 힘이 스프링 힘보다 크기 때문에 플런저가 OFF상태에서도 움직이는 것을 알 수 있다. Fig.12는 스프링 상수를 바꿔 가면서 시뮬레이션 한 것으로 스프링 상수가 작아지면 OFF시에도 유압에 의해 플런저에 작용하는 힘이 스프링힘보다 커지게 되기 때문에 플런저가 움직이는 것을 알 수 있다. Fig.13은 플런저의 질량을 변화시켜가면서 시뮬레이션 한 것으로 질량이 작은 경우가 OFF시에 유압이 빠르게 상승하는 것을 알 수 있다. 이때

ON시 보다는 OFF시에 더 큰 영향을 받는다.

이렇게 여러 요소들을 변화시켜 가면서 시뮬레이션 함으로써 기대되는 성능을 가진 PCSV에 대한 설계값을 구할 수 있다.

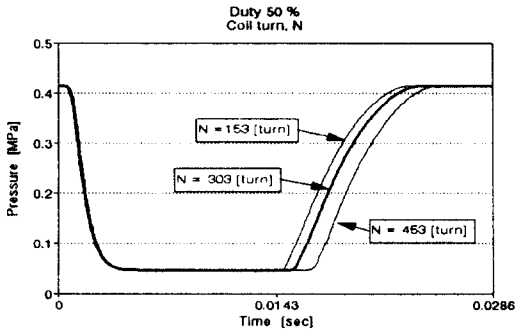


Fig.10 Pressure variation due to change of coil turn, N

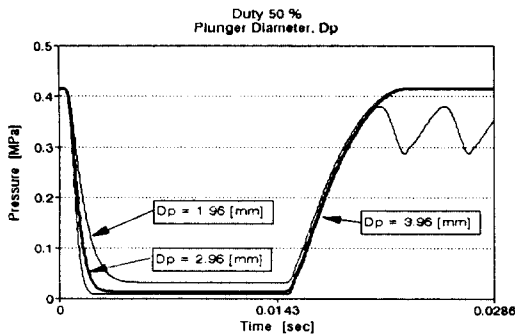


Fig.11 Pressure variation due to change of plunger diameter, Dp

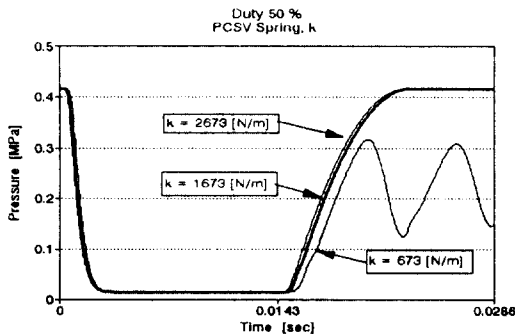


Fig.12 Pressure variation due to change of spring constant, k

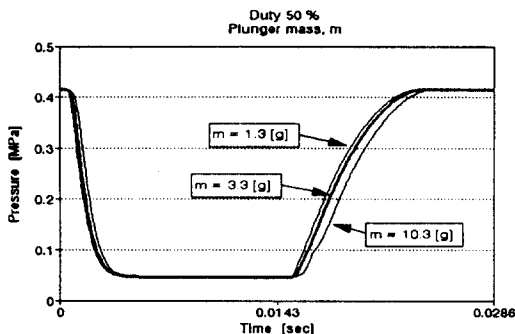


Fig.13 Pressure variation due to change of plunger mass, m

## 6. 결론

본 논문에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

① PCSV의 구동 주파수는 고주파수일수록 변속시의 쇼크를 줄여줄 수 있지만 고주파수에서는 추종성의 문제가 발생한다. 본 논문에서는 PCSV가 35Hz의 구동 주파수에 잘 추종하면서 PCV를 제어하기 위한 1차압을 각 듀티에 따라 생성하는 것을 알 수 있었다.

② 전기적 요소 중에서 중요한 인자들은 입력 전압, 저항 값, 인덕턴스 등이고 기계적 요소 중에서 중요한 인자들은 PCSV의 재질, 플런저와 코어의 치수, 스프링 상수 등인데 특히 플런저와 코어의 치수는 전자력에 큰 영향을 미치므로 설계시의 중요한 인자가 됨을 알 수 있었다.

③ PCSV의 플런저 지름,  $D_p$ 가 일정치 이상이 되거나 스프링 상수,  $k$ 가 일정치 이하가 되면 1차압이 듀티에 잘 추종하지 않음을 알 수 있었다.(Fig.11과 Fig.12)

## 참고문헌

1. 송창섭, 양해정, 송성배, "PWM 방식 고속 전자석에 관한 연구", 한국정밀공학회지 춘계학술대회 초록집, 1994, pp.273~277.
2. 손우철, "자동변속기의 변속시 유압회로내의 제어압 해석에 관한 연구", 漢陽大學校碩士論文, 1994
3. Herbert C. Roters, "Electromagnetic devices", JOHN WILEY & SONS, 1947, pp.84~150.
4. 中田高義外 2人 共著, "交流電磁石の設計と應用", 森北出版株式會社, 1991, pp.18~46.
5. 손병진外 2人 共著, "油壓工學", 喜重堂, 1993, pp.17~302.
6. Maxwell, "Maxwell User's Reference", Ansoft, 1994
7. Ansys, "Magnetics for static fields", Swanson Analysis Systems Inc.
8. Herbert E. Merritt, "Hydraulic control systems", JOHN WILEY & SONS, 1967, pp.1~105.