

비례전자식 유량제어밸브의 해석에 관한 연구

송 창 섭*, 윤 장 상**, 서 증 범***

A Study of Electromagnetic Proportional Flow Control Valve

Chang-Seop Song*, Jang-Sang Yoon**, Jong-Beom Suh***

ABSTRACT

In this study, it is analyzed that an electromagnet whose generating force is proportional to constant current through coil in its operating range. To find a relation between magnetic force and the structure in electromagnet, computer simulation method is used by permeance modeling method. When the electromagnet is applied to flow control valve, the relation between input current and flow is found. In order to get a reliability of computer simulation, the simulation results are compared to the experimental result. As the simulation is processed repeatedly, it is found that the gap size between plunger and guide steel and the length of tapered brass ring are important factors in electromagnet.

Key Words : Electromagnetic (전자석), Flow Control Valve (유량제어밸브), Magnetic Force (자기력), Permeance Modeling Method (퍼미언스모형법), Experimental Result (실험결과), Tapered Brass Ring (경사진 황동링)

NOMENCLATURE

A_x	orifice area	$[m^2]$	U_a, U_s	electromotive force	$[A \cdot Turn]$
C_d	discharge coefficient			in air gap and steel	
C_v	velocity coefficient		V	flow velocity	$[m/sec]$
F_{mag}	magnetic force	$[kgf]$	z	plunger displacement	$[m]$
F_1	flow force	$[kgf]$	$B, B(i)$	magnetic flux density	$[Wb/m^2]$
K	jet force	$[kgf]$	C_c	contraction coefficient	
k_1	spring constant	$[kgf/m]$	e_j	unit vector spring force	$[kgf]$
P_1, P_2, P_3	pressure	$[N/m^2]$	$H, H(i)$	magnetic intensity	$[A \cdot Turn/m]$
Q	flow rate	$[m^3/sec]$	k_r	spring constant intensity	$[A \cdot Turn/m]$
T	coil turns	$[turn]$	$L, L(i)$	length of magnetic flux	$[m]$

* 한양대학교 정밀기계과 (정회원)

** 서울산업대학 기계설계과 (정회원)

*** 한국타이어 기술연구소 제1설계부

p, pA, pB, pS, p(i)	permanence	[Wb/AT · m ²]	μ_0, μ_s	permeability of the air and steel	[Wb/AT · m]
R	magnetic reluctance	[AT/(Wb · m ²)]			
U, U(i)	electromotive force	[A · Turn]	ψ, ψ_0	magnetic flux	[Wb]
x	spool displacement	[m]	ρ	fluid density	[kg/m ³]
z ₀	initial spool displacement	[m]	ω	area gradient of valve orifice	[m]

1. 서 론

일반 산업기계에서 유압장치를 이용한 기계를 제작하는데 있어서 입력전류에 비례하는 유량을 제어하는 밸브가 필요하다. 비례전자식 유량제어밸브는 주어진 입력전류에 대해서 밸브의 개도가 일정적으로 비례하는 밸브로 밸브스풀의 위치를 외부 컨트롤러에서 전류로 조절하므로 작동유의 오염이나 압력변동이 심한 곳에서도 그 특성이 유지되기 때문에 널리 사용되어지고 있다(1).

비례전자식 유량제어밸브에 사용되는 전자석은 어떤 특성 구간에서 두 철심간의 거리에 관계없이 일정한 전지력을 발생하는 구조를 갖는 것이 요구된다. 이러한 특성을 갖는 전자석은 가이드 철심 중간에 황동링을 삽입함으로써 얻어지며 그 구조와 치수는 Fig. 1에 나타나 있다. 전자석의 플런저와 요크철심 사이에서 발생하는 전지력은 플런저와 가이드 철심사이의 공극에 존재하는 자기에너지와 플런저와 요크철심 사이의 공극에 존재하는 자기에너지의 플런저 위치에 대한 미분치로써 표시된다(1), (2). 이 힘을 해석적으로 구하기 위해서는 전자석을 하나의 자기회로 방정식으로 표현한다.

비례전자석을 유량밸브에 장착하면 입력전류에 따라 플런저에 전지력이 발생하여 플런저는 요크철심쪽으로 전진하게 되고 플런저와 직렬로 설치된 스프링의 반발력이 증가한다. 플런저의 전지력은 위치에 무관한 힘이므로 스프링의 반발력과 전지력이 일치한 지점에서 플런저는 멈추게 된다. 이러한 성질을 이용해서 입력전류에 따른 밸브스풀의 위치를 이용해서 밸브 오리피스를 흐르는 유량을 제어한다.

2. 이론 및 수학적 해석

2.1 비례전자석의 해석

2.1.1 전자기학의 이론

자속(flux) ψ 가 단면적 S인 매질을 통과하는 경우의

자속밀도(flux density) B는

$$B = \frac{\psi}{S} \quad (1)$$

이고, 자속밀도 B와 자계강도(magnetic intensity) H와의 관계는

$$B = \mu \cdot H \quad (2)$$

이다. 여기서 μ 는 매질의 투자율(permeability)이며 이는 물질의 고유한 특성치이다. 매질이 진공이나 공기인 경우는 그 크기가 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ [Wb/AT · m]로 일정하며 그외의 매질인 경우는 그 값이 변한다(4).

자속 ψ 가 매질을 통과하면서 소모하는 기지력(electromotive force) U는 자계강도와 매질의 통과길이 L의 곱으로 표시한다.

$$U = H \cdot L \quad (3)$$

퍼미언스 값은 투자율과 자속이 흐르는 단면적에 비례하고 길이에 반비례하므로 이를 식(4)에 나타내었다.

$$p = \frac{\mu \cdot S}{L} \quad (4)$$

외부에서 전류를 공급함으로써 발생하는 공급기지력은 코일의 감은수 N과 전류 i의 곱으로 표시되고, 공급기지력과 소모기지력은 같아야 하므로 매질을 철심과 공기의 두부분으로 나누면 식(5)가 된다.

$$N \cdot i = \sum H \cdot L + \frac{\psi_0}{\sum pS} = U_s + U_a \quad (5)$$

플런저에 유기되는 전지력(force)은 공극에 저장된 자기에너지의 플런저의 변위에 대한 미분치로서 나타나며 $U = \psi/p$ 의 관계에서 식(6)으로 표현된다.

$$F_{mag} = - \frac{1}{2} U_a \frac{d\psi}{dz} = - \frac{1}{2} U_a^2 \frac{dp}{dz} \quad (6)$$

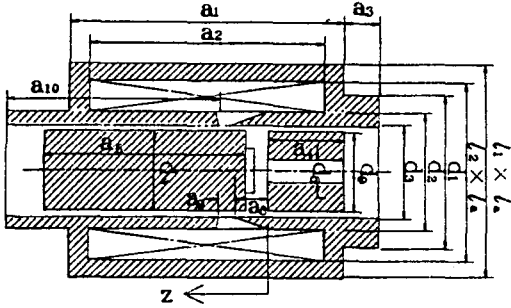


Fig. 1 Cross section of a proportional electromagnet

2. 1. 2 공극부와 철심의 퍼미언스

플런저의 위치에 따른 공극의 퍼미언스 분포를 Fig. 2 에 나타내고 있다. 철심부분에서 황동링이 테이퍼진 부분을 제외한 영역은 철심의 자기 저항이 직렬로 연결되어 있다. 그러나 테이퍼진 부분은 공극의 퍼미언스 p [2], p[3], p[4], p[5]와 직렬로 연결되고, 요크 철심은 p[1]과 직렬로, 다시 요크 철심과 가이드 철심이 병렬로 연결되어 있다. 그러므로 다른 부분과 달리 테이퍼진 철심 부분의 퍼미언스를 p[10]으로 정의하여 공극부분의 퍼미언스와 함께 계산하였다. p[10]의 경우에 자속의 통과길이는 플런저와 테이퍼진 철심이 겹치는 구간으로 가정하고, 자속이 통과하는 단면적은 플런저와 철심이 겹치는 부분의 가장 큰 면적을 취했다. 투자율 ϕ 의 값은 이 부분을 통과하는 자속의 양에 따라서 결정되는 값이므로 자속밀도 B(7)을 자기장 H(7)로 나누어서 구한다. 그러나 기저력 방정식 상에서 B(7), H(7)은 실제로 자속이 흘러야만 결정되는 값이므로 시뮬레이션 상에서 자속이 결정되기 전에는 구할 수 없는 값이다. 따라서 B(7)과 H(7)의 값은 앞선 z의 위치에서 구한 값을 대입하고 플런저 위치 z의 변화를 작게하여 p[10]을 구하고, 나머지 공극들의 퍼미언스는 기하학적으로 계산하였다.

$$p[1] = \mu_0 \pi \frac{(d3-4z/\pi)^2 - d5^2}{4 \times z}$$

$$p[2] = \frac{\mu_0 \pi (d3-g) \times (a7+a8-z)}{g} \times \frac{(a6-0.5z)}{a6}$$

$$p[3] = p[4] = \frac{2 \times 0.264 \times \mu_0 \times \pi (d3-g)}{2 \times 2.3 \mu_0}$$

$$p[5] = \frac{2 \times z / \pi - g}{\pi} \times \log_{10} \left(1 + \frac{2 \times z / \pi - g}{g} \right)$$

$$p[6] = \frac{\mu_0 \pi \times (d3-g) \times (z+a5-a6-a9)}{g}$$

$$p[7] = p[8] = \frac{2 \times 0.264 \times \mu_0 \times \pi (d3-g)}{2 \times 2.3 \mu_0}$$

$$p[9] = \frac{2 \times z / \pi - g}{\pi} \times \log_{10} \left(1 + \frac{2 \times z / \pi - g}{g} \right)$$

$$p[10] = \mu_s \frac{\pi \times (d3-2\sqrt{g \times d3})}{\pi / 4 \times ((d2-d3) \times (a6-z) / a6 + d3)^2 - d3^2} \times (a6-z)$$

여기서, $\mu_s = B[7] / H[7]$

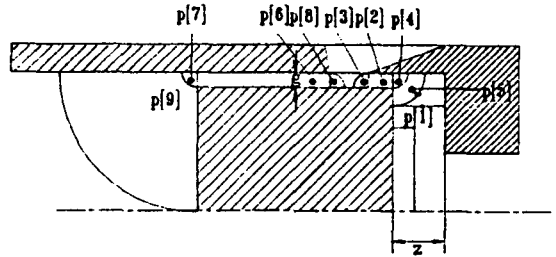


Fig. 2 Modeling of magnetic flux path in air gaps

자기회로는 전기회로와 쌍대적인 관계에 있으며 자기회로의 퍼미언스는 전기회로의 콘덕턴스에 해당하는 성질을 가지고 있으므로 각각의 퍼미언스를 합성하는 것이 가능하다. 철심부분에서는 전체 자기회로가 직렬로 연결되어 있고, 공극부분에서는 p[1], p[3], p[4], p[5]가 서로 병렬로, p[2], p[10]은 직렬로 연결되어 있다. 이것들이 다시 병렬로 연결되어 있으므로 pA와 표시하였다. p[6], p[7], p[8], p[9]는 서로 병렬로 연결되어 있으므로 pB로 표시하고, pA와 pB가 직렬로 연결되어 있으므로 전체 퍼미언스를 pS로 나타내었다. Fig. 3에 이 퍼미언스들의 합성과 전체 자기회로를 도식적으로 나타내었다.

$$pA = p[1] + p[3] + p[4] + p[5]$$

$$+ \frac{1}{1/p[2] + 1/p[10]}$$

$$pB = p[6] + p[7] + p[8] + p[9]$$

$$pS = \frac{pA + pB}{pA \times pB} \quad (7)$$

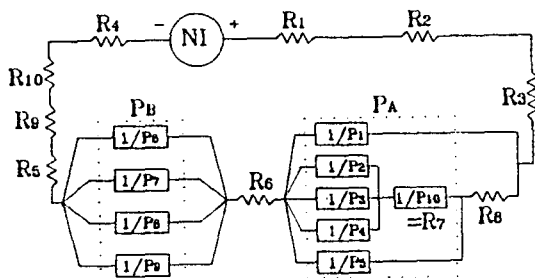


Fig. 3 Equivalent magnetic circuit of the electromagnet

2. 1. 3 철심의 소모기자력

Fig. 4에서 자속이 흐르는 철심 각부분의 자속밀도 B(i)는 자속 ϕ_0 을 단면적 S로 나눈 값이므로 철심 각부분의 평균 자속밀도는 다음과 같다. 단, B(7)과 B(8)의 경우는 자속이 합성 페리언스 pA와 그 부분으로 통과하는 페리언스와의 비율에 따라서 흐르므로 전체 자속 ϕ_0 에 각각 $(p[2]+p[3]+p[4])/pA$, $(pA-p[1])/pA$ 를 곱해서 구하고 B(9), B(10)은 B(5)의 자속이 흐르는 단면적의 3배, 2배로 정의하고, B(7)은 자속의 방향을 고려해서 단면적도 플런저가 a6만큼 움직였을 때를 초기 단면적에 20%로 가정하여 구했다.

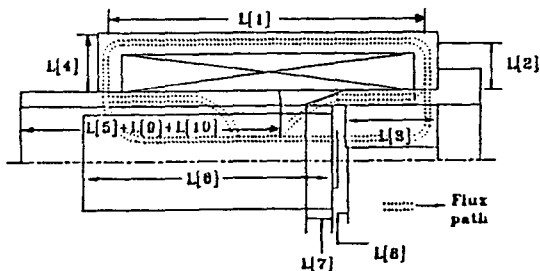


Fig. 4 Magnetic flux path in electromagnet

$$\begin{aligned}
 B[1] &= \frac{\phi_0}{l \times (l1-l2)}, & B[2] &= \frac{\phi_0}{l \times (a1-a2)} \\
 B[3] &= \frac{\phi_0}{\pi/4 \times (d2^2-d5^2)}, & B[4] &= \frac{\phi_0}{l \times (a1-a2)} \\
 B[5] &= \frac{\phi_0}{\pi/4 \times (d2^2-d3^2)}, & B[6] &= \frac{\phi_0}{\pi/4 \times d4^2} \\
 B[7] &= \frac{p[2]+p[3]+p[4]}{pA} \\
 &\times \frac{\phi_0}{\pi/4 \times ((d2-d3) \times (a6-z \times 0.8) / a6+d3)^2 - d3^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B[8] &= \frac{pA-p[1]}{pA} \times \frac{\phi_0}{(\pi/4 \times (d2^2-d3^2))} \\
 B[9] &= \frac{\phi_0}{3 \times (\pi/4 \times (d2^2-d3^2))} \\
 B[10] &= \frac{\phi_0}{2 \times (\pi/4 \times (d2^2-d3^2))}
 \end{aligned}$$

철심 전체의 소모 기자력은 식(5)에서 식(8)로 주어진다.

$$U_s = \sum_{i=1}^{10} H[i] \cdot L[i] \quad (8)$$

각각의 자속밀도 B(i)의 값에 대한 자계강도 H(i)의 값은 Fig. 5의 자화곡선(magnetization curve)에서 구할 수 있고, H(i)와 자속의 통과길이 L(i)를 곱해서 U_s 를 구한다.

$$\begin{aligned}
 L[1] &= a1+a2, & L[2] &= l1-d3, \\
 L[4] &= l1-d3, & L[5] &= a10 \times 0.7, & L[6] &= a5, \\
 L[7] &= (a6-z \times 0.8)/5, & L[8] &= z/4+a6/3, \\
 L[9] &= a10 \times 0.1, & L[10] &= a10 \times 0.2,
 \end{aligned}$$

2. 1. 4 전자석의 전자력(force)

전체 자기회로 방정식은 식(5)에서 식(8)과 식(7)를 대입하면 식(9)가 된다.

$$N \cdot i = \sum H[i] \cdot L[i] + \frac{\phi_0}{\mu_0 \mu_r S} \quad (9)$$

Fig. 2에서 공극 1, 2, 3, 4, 5가 서로 병렬로 연결되었으므로 전체 자속 ϕ_0 는 페리언스의 크기에 비례해서 흐르고, 기자력 U_{ai} 는 모두 같다. 공극 6, 7, 8, 9도 병렬로 연결되어 있으므로 마찬가지로의 결과가 된다(1).

$$\begin{aligned}
 \phi_{ai} &= \frac{p_i}{pA} \phi_0, & U_{ai} &= \frac{\phi_0}{pA} \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5) \\
 \phi_{ai} &= \frac{p_i}{pB} \phi_0, & U_{ai} &= \frac{\phi_0}{pB} \quad (i = 6, 7, 8, 9)
 \end{aligned}$$

윗 식을 이용해서 식(6)을 변형하면 식(10)을 얻는다.

$$\begin{aligned}
 F_{mag} &= - \frac{1}{2} \phi_0^2 \left(\frac{1}{pA^2} \sum \frac{dp_i}{dz} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{pB^2} \sum \frac{dp_i}{dz} \right) \quad (10)
 \end{aligned}$$

식(10)을 이용해서 전자력을 계산하기 위해서는 플런저의 각 위치에서의 페리언스와 그 미분을 계산하고 주

어진 외부의 공급기자력과 일치하는 자속 ψ_0 를 컴퓨터를 이용해서 시행오차법으로 구한다(1), (2).

2.2 유량제어밸브의 해석

2.2.1 정상 유동힘(steady-state flow force) K

Fig. 5에서 밸브실내의 유체의 가속에 필요한 힘을 분사력(jet force)이라 하고 유체가 정지상태에서부터 분사되면 선형운동량 이론에서 분사력 K는

$$K = \rho QV \quad (11)$$

K의 방향은 V의 방향과 일치하며 V는 축맥부(vena contracta)에서 단면에 수직한 방향이다. V방향의 단위벡터를 e_j 라고 하면

$$V = Ve_j$$

$$K = \rho QVe_j = \frac{\rho Q^2}{A} e_j = \frac{\rho Q}{C_c A} e_j \quad (12)$$

분사에 의해서 유체가 스프링에 작용하는 힘 F는 $F = -K$ 이고 이를 축방향성분 F_1 과 횡방향성분 F_2 으로 나누면.

$$F_1 = -K\cos\theta, \quad F_2 = -K\sin\theta \quad (13)$$

F_2 는 서로 축에 직각방향으로 서로 상쇄되나, F_1 은 상쇄력이 없어 포트(port)를 막는 방향으로 스프링을 미는 힘이 된다.

식(13)에 유량 방정식과 식(12)를 대입하면, F_1 은 식(14)로 된다.

$$Q = C_c C_v A_x \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad (14)$$

$$F_1 = -2C_d C_v A_x (p_1 - p_2) \cos\theta \quad (15)$$

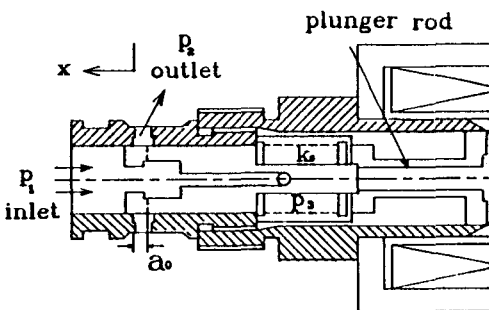


Fig. 5 The cross-section of flow control valve $C_d=0.61$, $C_v=0.98$, $\theta=69^\circ$ 를 취하면

$$F_1 = -0.43w(p_1 - p_2)x = -k_f x \quad (16)$$

여기서 $k_f=0.43w\Delta p$ 이고, 식(12)는 정상 유동힘에 의한 밸브의 힘이다.

2.2.2 유량 해석

Fig. 5의 밸브의 단면 그림에서 압력 p_1 과 p_3 가 같다고 가정하면, 전자석의 전자력 F_{mag} 와 밸브에 설치된 스프링의 압축력 F_s 와 밸브의 힘 F_1 사이의 힘 평형식은, $F=0$ 에서 식(17)이 된다.

$$F_{mag} + F_1 - F = 0$$

$$F_{mag} + k_f(a_0 - x) - k_1(x+z_0) = 0 \quad (17)$$

x에 관해서 정리하면

$$x = \frac{k_f a_0 - k_1 z_0 + F_{mag}}{k_f + k_1} \quad (18)$$

식(15)는 유동력 F_1 , 전자력 F_{mag} , k_f 에 의해서 결정되는 x의 변위를 나타낸다. 따라서 밸브의 양단을 흐르는 유량 Q는 식(19)로 주어진다.

$$Q = C_d \cdot \pi \cdot \frac{d_0}{2} \cdot x \cdot \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad (19)$$

Table 1은 유량제어밸브에 사용된 제품의 치수이다.

Table 1. Dimensions of flow control valve

a_0	2×10^{-3}	[m]	C_v	0.98
k_f	1.4×10^3	[kgf/m]	ρ	850 [kg/m ³]
z_0	0.002	[m]	θ	69°
C_d	0.61		d_0	8.8×10^{-3} [m]

3. 실험 및 시뮬레이션 결과의 고찰

3.1 전자력 측정 실험장치

Fig. 6은 플런저의 각 위치에 따른 전자력을 측정하기 위한 실험장치이다. 가운데 위치한 스트로크 조정나사를 돌림으로서 플런저가 이동하도록 되어 있고 이동된 위치를 변위계를 통해서 측정한다. 플런저 로드는 하중계에 닿아 있고 직류 전원공급장치에서 솔레노이드에 전류를 가하면 발생하는 전자력이 하중계에 전달되어 힘을 측정할 수 있다. 실험은 전류를 일정하게 유지하고 플런저의 변위를 변화시켜 가면서 발생하는 전자력을 측정하고, 일정한 플런저의 위치에서 전류를 변화시켜 가면서 발생하는 전자력을 측정하였다. Table 2는 실험에 사용된 전자석의 재원이다.

Table 2. Dimensions of proportional electromagnet

단위 [m]

N	1770 [turn]	11	35.7×10^{-3}	12	30.7×10^{-3}
la	28.1×10^{-3}	d1	22.0×10^{-3}	d2	16.0×10^{-3}
d3	12.57×10^{-3}	d4	12.3×10^{-3}	d5	4.8×10^{-3}
d6	13.0×10^{-3}	d7	44.0×10^{-3}	d8	8.2×10^{-3}
d9	d3-0.0001	a1	42.0×10^{-3}	a2	36.5×10^{-3}
a3	9.3×10^{-3}	a4	18.0×10^{-3}	a6	a7+a8
a5	29.3×10^{-3}	a7	0.0×10^{-3}	a8	3.0×10^{-3}
a9	2.0×10^{-3}	a10	43.0×10^{-3}	a11	4.0×10^{-3}
g	(d3-d4)/2				

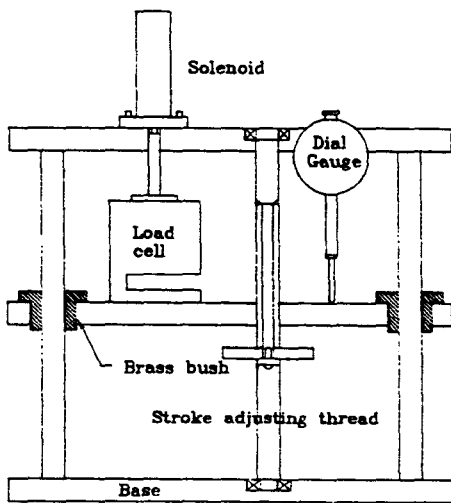


Fig.6 Layout of experimental instrument

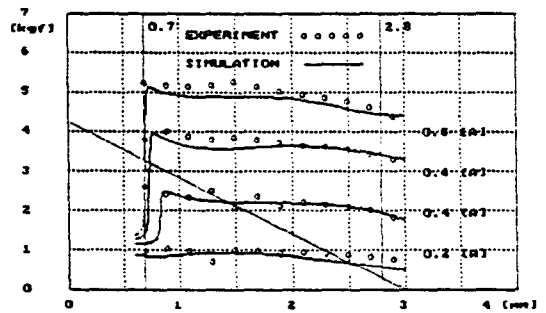
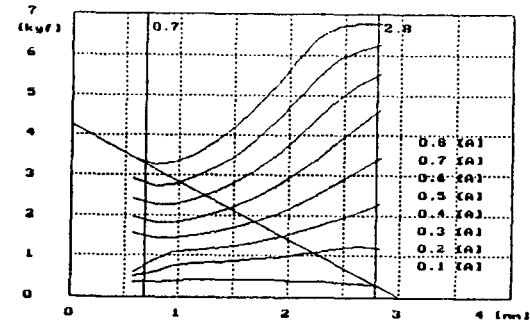


Fig.7 Magnetic force vs. plunger position with constant current

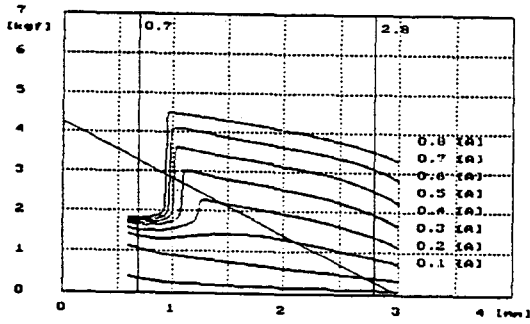
3.2 전자력의 실험 치 시뮬레이션 결과

황동링을 설치한 전자석은 황동링의 경사가 끝나는 부분에서 전자력이 급격히 감소하기 때문에 실제적으로 전자석의 활용 범위는 가이드 철심과 황동이 겹쳐서 존재하는 부분이 된다. 따라서 시뮬레이션을 이 부분에서만 실행하였다. Fig. 7는 전류를 각각 0.2[A]에서 0.8[A]까지 0.2[A]씩 증가시켜 가면서 각각 전류가 일정한 경우에 전영역에서 전자력의 크기를 나타내고 있다. 원은 실험결과이며 실선은 시뮬레이션 결과로 두 선들이 거의 일치한다. Fig. 8 (a), (b)는 공극의 크기 g를 각각 0.1[mm], 0.35[mm]로 변화시켜 시뮬레이션한 결과이다. 공극이 작은 경우에는 플런저의 위치 z가 변화함에 따라서 자속이 줄어드는 양이 작아서 전자력이 z가 증가함에 따라서 전자력도 줄어드는 경향을 나타낸

다. Fig. 9 (a), (b)는 테이퍼진 황동링의 길이 즉, a6의 크기를 2.5[mm], 4.0[mm]로 변화시켜 가면서 시뮬레이션한 결과값이다. a6의 길이가 작은 경우에는 전자력의 크기는 상승하지만 사용 가능한 범위가 작고 평탄한 곡선을 얻을 수 없고, a6의 길이가 큰 경우에는 평탄한 곡선을 얻을 수 있지만 전반적으로 전자력의 크기가 작아서 효율적이지 못하다. Fig. 10 (a), (b)는 시뮬레이션을 반복 수행한 결과로 공극의 크기 g와 a6의 크기를 적당히 조절하여 작동구간에서 일정한 크기의 힘을 내면서 전류에 비례하는 특성을 갖게 하는 치수의 예이다. Fig. 10 (a)는 g를 0.175[mm]로 하고 a6을 2.5[mm]로 했을 때의 시뮬레이션 결과로 작동범위는 작지만 전류에 대한 힘의 증가가 매우 큰 경향을 나타내고, Fig. 10 (b)는 g를 0.375[mm], a6을 4[mm]로 하였을 때의 결과이다. 이 경우는 전류의 증가에 따른 힘의 변화는 작지만 넓은 작동범위에서 전자석을 사용할 수가 있다. Fig. 11은 유량제어밸브에 장착된 전자석에서 입력전류를 변화시켜감에 따라서 이동되는 플런저의 위치를 나타낸 것이다.

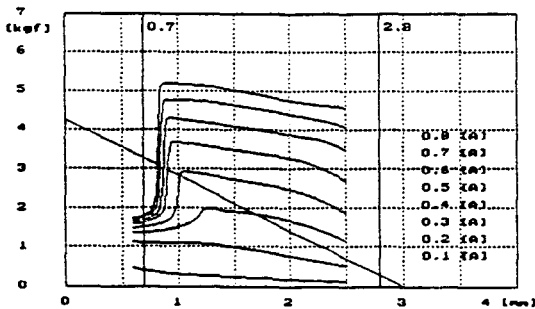


(a) $g=0.1(\text{mm})$,

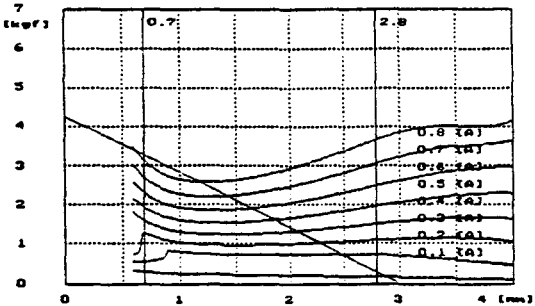


(b) $g=0.35(\text{mm})$

Fig.8 Magnetic force vs. plunger position at different air gap



(a) $g=0.175(\text{mm})$, $a_6=2.5(\text{mm})$



(b) $g=0.375(\text{mm})$, $a_6=4.0(\text{mm})$

Fig.9 Magnetic force vs. plunger position with different tapered brass ring length

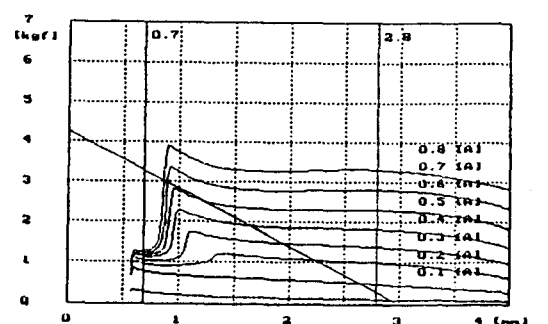
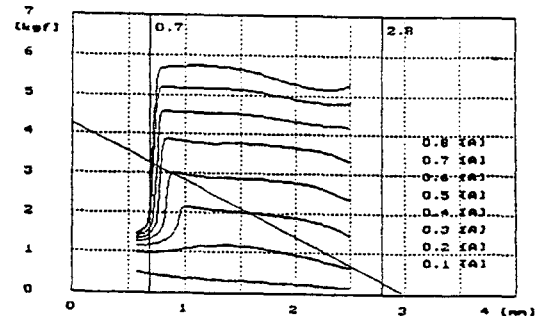


Fig.10 Magnetic force vs. plunger position with different air gap and different tapered brass ring length

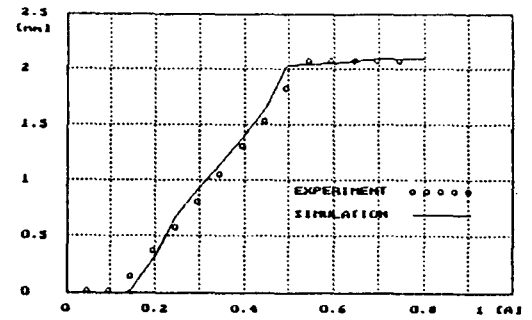


Fig.11 Plunger displacement vs. current of flow control valve

3.3 유량제어밸브의 시뮬레이션 결과

Fig. 12은 입력전류가 0(A)인 경우에 밸브 오리피스 양단의 압력이 0(bar)에서 210(bar)까지 변하는 동안에 흐르는 유량을 나타낸다. 밸브양단의 압력이 증가하기 시작하는 초기에는 압력차가 증가함에 따라서 유량도

증가하지만, 어느 정도 압력차가 커지면 오히려 유량이 줄어드는 경향을 나타내는데 이것은 유량이 증가함에 따라서 유동력이 증가하기 때문이다. Fig. 13은 밸브양단의 압력차가 210(bar)일 때 입력전류 0.72(A)를 100%로한 경우에 전류의 증가에 따라서 변동되는 유량을 나타내고 있다. 실험 곡선으로는 Parker사의 유량제어밸브 17(W)급 모델 카탈로그(model No. DF 092)를 이용하였으며 점선은 실험값을 나타내고 실선은 시뮬레이션 값을 나타내고 있다.

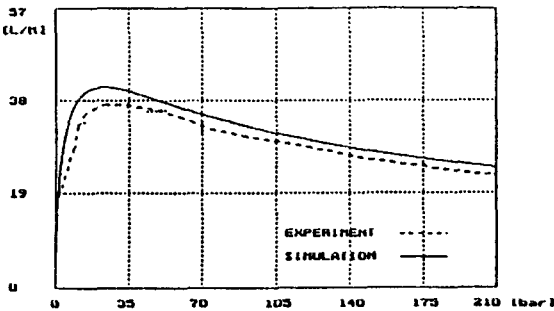


Fig. 12 Flow rate vs. pressure difference on zero input

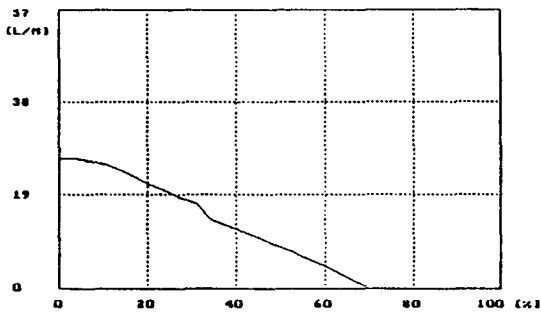


Fig. 13 Flow rate vs. input current when pressure difference is 210 [bar]

4. 결 론

1. 전자석의 치수를 변경해서 시뮬레이션을 수행한 결과, 전자력에 중요한 영향을 주는 요소(factor)는

플런저와 가이드 철심간의 공극의 크기와 가이드 철심 중간에 설치한 황동링의 길이이다.

2. 플런저와 가이드 철립 사이의 공극을 크게하면 전반적으로 크기가 감소하고 공극의 크기가 작은 경우는 전자력의 크기가 증가하지만, 공극이 매우 작아지면 작동범위에서 고른 전자력이 발생하지 않는다. 따라서, 적절한 공극의 크기가 필요하다.
3. 황동링의 길이가 작으면 전자력이 커지는 경향을 나타내지만 균일한 전자력을 나타내는 범위가 줄고, 황동링의 길이가 커지면 전자력의 크기는 줄지만 넓은 영역에서 균일한 전자력을 나타낸다. 그러므로, 설계에 요구되는 스트로크를 고려해서 황동링의 길이를 설계해야 한다.
4. 유량제어밸브에 비례전자석을 이용함으로써 입력전류에 유량이 선형적으로 비례하는 특성을 얻을 수 있다.

참고문헌

1. 송창섭, "전자식 유압 비례복합밸브에 관한 연구", KAIS 박사학위 논문, p.1-p.21, 1980
2. 이대길, "비례복합밸브내의 솔레노이드의 특성에 관한 연구", KAIST 석사학위 논문, p.1-p.77, 1977
3. Herbert C. Roters, "Electro magnetic devices", John Wiley and Sons, Inc., pp.196~335, 6th ed. 1941 (reprint 1970)
4. 石黒敏郎, 坪島茂彦, 宮川澄夫 共著, "交直マクネットの設計と應用", p.26, p.33-p.38, オム社, 1969
5. 손병진, 강명순, 박영조, "유압공학", pp.265~274. 회중당, 1987
6. 穴山武, "エネルギー變換工學基礎論", p.81-p.91, 丸善株式會社, 1977
7. Product Catalog, Parker Inc. model No. DF 092 17(W)