

## ISO 솔레노이드 밸브 전기적 특성 분석

전용식\*, 오영철\*, 주민진\*  
(주) 팜 코 기술연구소\*

### Analysis of ISO Solenoid Valve for Electrical Characteristic

Yong-Sik Jeon\*, Yeong-Cheol Oh\*, Min-Jin Ju\*  
Department of Technical Institute, FAMCO CO.,LTD\*

**Abstract** - In this study, A special quality analysis and experiment for low power consumption type pneumatic on-off micro valve was performed. And flow characteristics of the micro valve by stroke change was numerically investigated. As a result, it is shown that magnetic force(2.4N) is exerted enough to move poppet with 0.3mm stroke with 0.01 seconds of response time, and that there is no magnetic force emitted by yoke.

#### 1. 서 론

ISO 솔레노이드 밸브 전기적 기술은 압축공기를 작동유체로 하여 공기압 동력을 기계동력으로 변환시켜주는 공기압 솔레노이드 밸브의 핵심부품인 공기압 제어밸브의 핵심요소기술의 해석기법, 최적설계, 시험평가에 의한 검증 및 생산기술 개발에 대한 것이며, 이들 기술의 핵심은 고응답화, 고속화, 저소비전력화, 고유출력화, 고정밀제어화 및 고성능, 고신뢰성화에 있다. 각각의 핵심기술은 압축공기 에너지 절약 시스템의 요소 개발의 초석이 되는 물론이고 자동차, 우주항공, 방산, 선박, 일반산업기계(인쇄, 섬유, 식품, 의료, 공작기계, 농기계, 프레스, 사출기 등) 및 반도체 장비 등의 자동화 라인 등 전 산업분야에 광범위 하게 응용되고 있는 핵심 기반 기술이다.

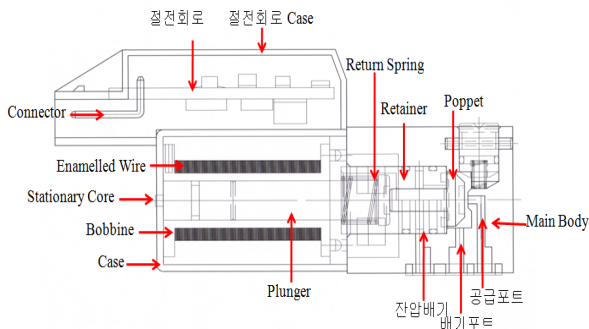
본 연구에서는 고 응답성 및 초절전 특성을 나타내는 ISO 솔레노이드 밸브의 역추에이터를 설계하고 해석을 통하여 솔레노이드 밸브의 성능을 검증하고자 한다.

솔레노이드의 자장해석에는 상용 소프트웨어(Maxwell)를 이용하였으며, 설계된 ISO 솔레노이드 밸브의 성능을 검증 할 수 있었으며, 향후 실험을 통하여 최적의 설계 데이터를 확보할 계획이다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 ISO 솔레노이드 밸브 구성 및 작동 원리

ISO 솔레노이드 밸브의 구성도를 그림 1에 나타내었다.



〈그림 1〉 Schematic Diagram of ISO Solenoid valve

ISO 솔레노이드 밸브의 주요구성을 살펴보면, 압축공기의 방향을 제어하는 포핏, 가동자(plunger), 고정자(stationary core)와 스프링, 누설을 차단하게 해주는 O링(O-ring) 및 개스킷(gasket) 등으로 이루어져 있다.

ISO 솔레노이드 밸브의 동작원리를 살펴보면, 솔레노이드(solenoid) 통전시 전자석의 힘에 의해 포핏을 전진시키고 공급포트(supply port)를 통해 압력포트(pressure port)로 압축공기가

흐르며 솔레노이드 비통전시에는 스프링 힘으로 포핏을 후진시켜 공급포트가 닫히게 되며 배기포트(exhaust port)로 배기되어 고속으로 왕복 운동한다.

##### 2.1.1 ISO 솔레노이드 밸브 설계사양

설계된 ISO 솔레노이드 밸브의 설계사양 및 성능제원을 표 1에 나타내었다.

성능은 공급전원 24VDC, 설계사양은 0.3W, 10ms이하의 응답성과 10mm의 두께로 콤팩트하며, 40dB이하의 저소음형이다. 따라서 의료용으로도 사용되어지고 있는 것이 특징이다.

##### 〈표 1〉 Design Specifications

Item	Value	Unit
Supply Pressure	3	bar
Supply Voltage	24	V
Electric Power	0.3	W
Port	3	mm
Stroke	0.3	mm
Coil Turn Number	6,200	turn
Coil Diameter	0.04	mm
Coil Resistance	1.5	kΩ
Effective Area	0.19	mm <sup>2</sup>
Flow coefficient	0.01	-
Response Time	10	ms
Temperature Rise Value	50	℃
Magnetic Force	2.4	N
Spring Constant	0.015	N/mm

##### 2.2 ISO 솔레노이드 밸브 자장해석

설계, 제작된 ISO 솔레노이드밸브의 핵심기술은 솔레노이드와 포핏으로 분류되며, 솔레노이드의 경우, 자장해석이 중요하다. 솔레노이드에 의해 발생하는 흡인력, F는 식(1)과 같다.

$$F = \frac{B_g^2 S}{2\mu_0} = \frac{10^{-7}}{8\pi} B_g^2 S \text{ [N]} \quad (1)$$

식(1)로부터 가동자 단면적 S를 구하면 식(2)와 같다.

$$S = \frac{8\pi \times 10^{-7} \cdot F}{B_g^2} \text{ [m}^2\text{]} \quad (2)$$

가동자의 반경  $r_1 = \sqrt{(2\mu_0 F)/\pi B_g^2}$  이며, 기자력 U는 식(3)과 같다.

$$U = \ni = \frac{B_g l_g}{\mu_0} + \sum H_1 l_1 \text{ [A]} \quad (3)$$

다음으로 코일 공간을 결정하는 치수 h와 T 온도상승치  $\theta_f$ 를  $\theta_f$ 로 나타내는 식(4)에 의해서 결정된다.

$$\theta_f = (I^2 R)/(2\lambda l_m h) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4)$$

$$\theta_{fi} = (q\rho/2\lambda\zeta T) \cdot (\cong/h)^2 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4)$$

식(4)로부터 코일의 높이  $h$ 는 식(5)로 유도되어진다.

$$h = \sqrt[3]{\frac{qB\rho_h U^2}{2\lambda S_p \theta_f}} \quad (5)$$

다음은 코일의 높이( $h$ ), 폭( $T$ ), 내경과 외경을 만족하면서 필요한 기자력( $NI=U$ )를 공급할 수 있는 코일의 선경을 짐작을 고려하여 산정한다. 이 과정에서 코일의 높이 및 폭은 코일 선경의 함수이기 때문에 반복 계산을 함으로써 적당한 코일의 선경을 계산해야 한다. 전압식  $V=IR$ 로부터 식(6)으로 유도된다.

$$V = \frac{4\rho_h l_m NI}{\pi d^2} = \frac{4\rho_h (r_1' + r_2') NI}{d^2} \text{ [V]} \quad (6)$$

그러므로 코일선경  $d$ 는 식(7)과 같이 구할 수 있다.

$$d = \sqrt{\frac{4\rho_h (r_1' + r_2') U}{V}} \text{ [mm]} \quad (7)$$

따라서 코일의 층수  $m = T/d$ 이며, 권선수  $N = ((h/d) - 1)m$ 으로 결정되어진다.

온도상승을 위해서는 먼저 여자전류  $I_h$ 를 구해야 한다. 코일의 평균길이  $l_m$ 과 전장  $l_t$ 은 식(8)과 같다.

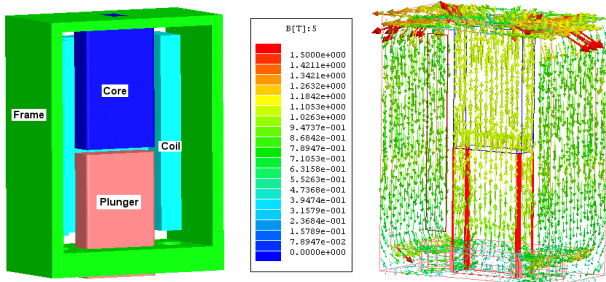
$$l_m = \pi (2r_1 + T), \quad l_t = NI_m \quad (8)$$

코일의 저항( $20^\circ\text{C}$ ) =  $l_t \times$  저항계수, 코일의 저항( $100^\circ\text{C}$ ) =  $1.314 \times R_c$ , 여자전류  $I_h = V/R_h$ , 기자력  $U = NI_h$ 이다. 따라서 온도상승은  $\theta_f$ 에 의해서 결정된다.

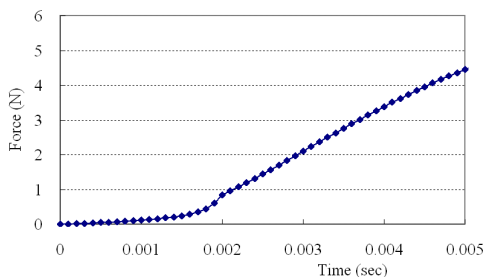
### 2.2.1 ISO 솔레노이드 모델링 및 해석 결과

ISO 솔레노이드 밸브의 솔레노이드 부분을 해석하기 위하여 그림 2와 같이 모델링 하였으며, 솔레노이드에 의한 ISO 솔레노이드 밸브의 응답특성 등의 해결과를 그림 3 ~ 6에 나타내었다.

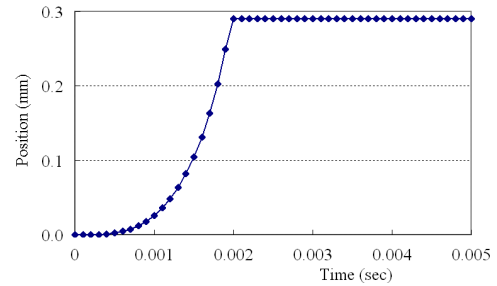
그림 2 ~ 6에서 알 수 있듯이 ISO 솔레노이드 밸브가 움직이는 변위(0.3mm)가 일어나도록 충분한 전자력(4.4N)을 발휘하는 것을 알 수 있으며 고속의 위치 응답성과 속도 응답특성을 나타내고 있다.



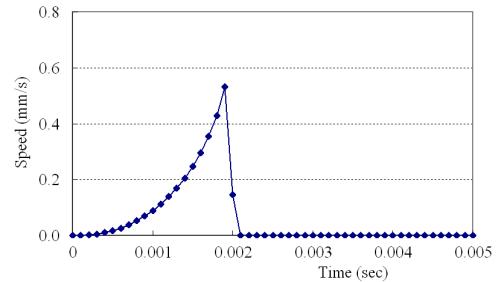
<그림 2> Modeling of Solenoid



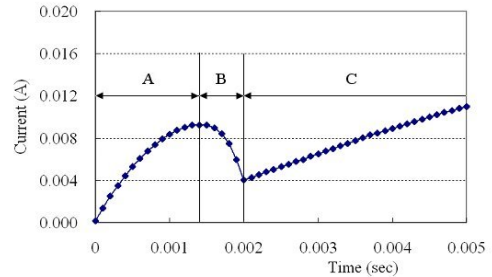
<그림 3> Force vs. Time



<그림 4> Position vs. Time



<그림 5> Speed vs. Time



<그림 6> Branch Current

## 3. 결 론

1. ISO 솔레노이드 밸브의 포핏이 고응답의 반응 속도 (5ms)로 스트로크(0.3mm)를 발휘되도록 솔레노이드에 충분한 전자력의 힘(4.4N)이 작용하며, 요크(yoke)로 인하여 외부로 방출되는 자기력이 없음을 확인 하였다.
2. ISO 솔레노이드에 DC 24V의 전원이 공급된 후에 플런저의 변위를 보이고 있다. 플런저는 약 0.5ms의 delay 후에 이동을 시작했으며, 2 ms 후에 이동을 완료하였으며, 시간-흡인력의 변화 곡선은 플런저의 이동이 완료된 시점에서 발생하는 흡인력은 약 1N이며, 정상상태에서는 약 5 N까지 증가함을 보이고 있다. 따라서 플런저에 발생하는 흡인력이 스프링의 힘보다 충분히 크게 발생됨을 알 수 있다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부와 에너지관리공단이 지원하는 에너지효율향상사업 “고성능 On/Off Actuator 개발” 과제지원으로 연구되었으며, 관계자 여러분께 감사사를 드립니다.

## [참 고 문 헌]

- [1] K. Kakano, H. Watanabe and G. Mao-ving, "Experimental Study for the Compensation of Axial Flow Force in a Spool Valve", Journal of the Japan Fluid Power System Society, Vol. 18, No. 6, pp. 475 ~ 482, 2000.
- [2] 中田 高儀, “有限尿素法による 交直電磁石の設計と應用”, 森北出版株式會社, pp. 63 ~ 90, 1991.
- [3] B. W. Andersen, “The Analysis and Design of Pneumatic Systems”, John Wiley & Son Inc., pp. 48 ~ 61, 1967