

분수차수제어기를 이용한 솔레노이드밸브 위치제어

강정욱* · 전용호**

Position Control for Solenoid Valve using the Fractional Order Controller

Jung-Yoog Kang* · Yong-Ho Jeon**

요약

본 연구는 산업현장에서 많이 사용되는 솔레노이드의 사용함에 있어서, 정밀한 위치 제어를 위한 제어기 설계의 방법을 제안한다. 먼저 관측기는 외란을 적극 반영하여 상태추정을 할 수 있는 루엔버거 관측기를 설계하고 적절한 이득을 설정한다. 관측된 상태를 바탕으로 분수차수 PD제어기를 설계하여, 위치제어에 적용한 결과 분수차수제어기는 목표량이 다르더라도 거의 동일한 제어성능을 얻을 수 있었다. 또한, 정상상태의 위치 오차가 0.1[%]이내이고, 기동시간이 약 0.05초 이내의 정밀한 위치제어성능 가짐을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

This study proposes a method of controller design for precise position control in the use of solenoid which is widely used in industrial field. First, we design a Luenberger's observer that can accurately estimate the disturbance and set the appropriate gain. Based on the observed state, a fractional PD controller is designed and applied to the position control. As a result, the fractional order controller can obtain almost the same control performance even if the target position is different. In addition, it was confirmed that the position error of the steady state is within 0.1 [%] and the rising time is within about 0.05 second.

키워드

Solenoid Valve, Plunger, Luenberger'S Observer, Disturbance Observer, Fractional Order
솔레노이드 밸브, 가동철심, 루엔버거 관측기, 외란 관측기, 유리차수

1. 서론

솔레노이드 밸브는 유체의 압력, 유량 및 방향을 조절하는 장치로 산업현장 곳곳에서 유용하게 사용되고 있다. 일반적으로 솔레노이드밸브의 구조는 가동형 철심(Plunger)에 자기력을 생성하기 위해 코일을 감은 형태이다. 코일에 전기를 흐르게 하면 발생하는 자기력에 의해 가동철심 한 면에 장착된 스프링의 탄성을 이기고 움직이며, 전기를 흐르지 않게 하면 스프링의

복원력에 의해 원 상태로 복귀하는 동작을 한다. 구조가 간단하고 단순하여 메카트로닉스관련 많은 곳에서 ON/OFF용으로 사용이 되며, 내연기관의 연료분사장치 등과 같은 정밀 제어용도로도 중요하게 사용된다 [1-5]. 범용의 ON/OFF 기능만을 갖는 솔레노이드 밸브는 전원의 단순 개폐동작으로 소음이 심하며, 진동과 과도한 개폐동작으로 인하여 내구성이 감소하며, 전기에너지의 손실이 발생하는 문제가 있다. 이는 단순히 개폐가 요구되는 곳에서 사용 시 제어의 비용이

* 안양대학교 정보통계학과(jykyang@anyang.ac.kr) · Received : Jan. 28, 2018, Revised : Feb. 06, 2017, Accepted : Feb. 15, 2018

** 교신저자 : 중원대학교 항공정비학과

· Corresponding Author : Yong-Ho Jeon

· 접수일 : 2018. 01. 28

Dept. Aviation Maintenance Engineering, Jungwon University

· 수정완료일 : 2018. 02. 06

Email : waterjiar@jwu.ac.kr

· 게재확정일 : 2018. 02. 15

증가하는 것을 우려하는 원인으로 판단된다. 하지만 장기적인 관점에서 제어기능의 부가로 소음과 진동, 내구성 등에 에너지 절감까지 장점이 크다.

본 연구에 있어서 범용 솔레노이드 밸브의 가동철심의 위치를 제어하고자 한다. 가동철심의 위치를 조절하는 것은 솔레노이드밸브의 사용에서의 많은 단점을 해소하는 것으로 위치를 제어하는 것이다. 위치 제어 시 위치상태의 계측 필요성이 부각되지만 저가의 솔레노이드 밸브에 위치센서를 부착하기에는 부담이 증가하여 이에 대안으로 상태 관측기를 설계하여 위치제어가 가능하게 한다.

솔레노이드 밸브 시스템은 강한 비선형적인 특성과 플랜저로 유입되는 외란이 존재한다. 정밀한 위치 제어를 위해서는 이를 극복할 수 있는 제어방법이 요구되는데 PID(Proportional Integral Derivative) 제어기는 작은 노력으로 제어 목적을 달성할 수 있는 좋은 방법이다. 그러나 제어기의 특성상 적분기는 정상상태의 효과가 있지만, 과도상태의 응답성을 개선하기에는 어려움이 존재하고 미분기는 과도상태응답의 개선에는 도움이 되지만 전체 시스템의 안정도에서 불안정성이 증가하는 경향이 있다. 그리고 외란에 대해 제어 이득의 튜닝의 어려움이 있다. 따라서 간편하게 구성할 수 있으면서 제어의 성능의 개선을 위한 연구가 많이 되고 있다. 그 중 분수차수를 갖는 제어기에 대한 연구도 진행이 되어오고 있다[6-10]. 일반적으로 미분방정식은 정수 차수로 미분연산을 수행하는 것이지만 분수차수에 대한 미분 연산이 수행되는 것으로 미분의 유리차수를 적절히 설정한다면 과도상태와 정상상태의 응답성능의 개선이 되는 것을 보여주고 있다.

본 연구에서는 가동철심의 정밀한 위치제어하기 위해 먼저 솔레노이드 밸브의 역학적 모델을 살펴보고 그에 따라 상태관측기를 설계하여 추정된 상태를 분수차수 PID제어기와 일반 PD제어기를 적용하여 그 성능을 비교 검토하고자 한다. 그 성능을 과도상태와 정상상태의 응답의 특성을 확인하고 가동철심의 외란에 대한 강건성에 대한 것으로 나누어 제어기의 성능 개선을 확인한다. 먼저 2장에서는 분수차수의 미분에 대한 소개를 하고, 3장에서 솔레노이드밸브의 역학적 모델에 대한 루엔버거 관측기를 구성하여 상태를 추정하며 4장에서는 분수차수에 대한 PD제어기를 구성

이산화하여 설계하며, 5장에서 PID 제어기와 비교 분석하여 성능을 검토하겠다.

II. 분수차수미분(Fractional derivatives)

산업 현장의 제어에서 널리 활용되는 PID제어는 단순한 제어구조로 여러 제어대상에 대해 동일한 방식으로 손쉽게 적용가능하고 강건한 제어성능 얻을 수 있는 장점이 있다. 하지만 비선형성이 강하고, 시변시스템과 복잡한 구조의 시스템에는 한계가 있다.

분수차수에 대한 미분은 일반적인 미분(정수차수 미분법)에 대한 역사와 동일하게 소개되어져 왔으며, 미분의 차수가 실수(Real Number)와 복소수(Complex Number)에도 적용되어졌다[6-10]. 실제 많은 시스템이 분수차수 미분방정식의 특징을 가지고 있다. 그로 인해 수학적으로 시스템을 모델링을 하는 좋은 방법이며, 현대제어에서 분수차수 미분제어는 중요성이 부각되고 많은 연구가 되고 있다. 분수차수를 갖는 PD^μ 제어기는 I-DX robot을 제어하는 좋은 예이다.

미분의 정의는 다음 식(1)에서 식(2)와 같다.

$$D_x f(x) = \lim_{h \rightarrow 0} h^{-1} \Delta f(x) \quad (1)$$

$$\Delta f(x) = f(x) - f(x-h) \quad (2)$$

식(1)에서 함수 값의 차이를 식(2)로 정의한 것이다. 식(2)를 양의 정수로 확장하면 다음의 식(3)에서 식(5)와 같다.

$$\Delta^2 f(x) = f(x) - 2f(x-h) + f(x-2h) \quad (3)$$

$$\Delta^3 f(x) = f(x) - 3f(x-h) + 3f(x-2h) - f(x-3h) \quad (4)$$

⋮

$$\Delta^\alpha f(x) = \sum_{m=0}^{\alpha} (-1)^m \binom{\alpha}{m} f(x-mh) \quad (5)$$

$$\binom{\alpha}{m} = \frac{\alpha!}{m!(\alpha-m)!} = \frac{\Gamma(\alpha+1)}{\Gamma(m+1)\Gamma(\alpha-m+1)} \quad (6)$$

식(5)의 이항계수는 다음 식(6)과 같다. 식(6)에서 α 는 양의 정수이다. 그리고 $m > \alpha$ 인 경우의 항에 대한 이항계수는 0이다. 식(5)를 이용하여 미분을 정의하면 다음 식(7)과 같다.

$$D_x^\alpha f(x) = \lim_{h \rightarrow 0} h^{-\alpha} \Delta^\alpha f(x) \quad (7)$$

식(7)은 α 가 양의 정수뿐 아니라 양의 실수영역으로 확장된 그룬월드-레트니코브(Grünwald-Letnicov) 분수차수의 미분으로 정의한다. 리만-라우빌(Riemann-Liouville)분수차수 미분 연산자를 다음의 식(8)로 정의한다.

$$D_x^\alpha = \begin{cases} \frac{d^\alpha}{dx^\alpha} & R(\alpha) > 0 \\ 1 & R(\alpha) = 0 \\ \int_\alpha^x (d\tau)^{-\alpha} R(\alpha) < 0 \end{cases} \quad (8)$$

초기치를 0으로 가정하고 함수 $f(x)$ 의 라플라스변환이 $F(s)$ 라 할 때, 식(8)의 RL미분 연산자를 이용하여 라플라스변환을 하면 다음 식(9)와 같다.

$$L(D_x^\alpha f(x)) = s^\alpha F(s) \quad (9)$$

식(9)의 결과는 미분변수가 시간에 대한 경우 정수차수 미분의 라플라스변환에서 α 만큼 지연 항이 첨가되는 것과 유사하다.

III 솔레노이드밸브의 시스템

솔레노이드 밸브는 전기적인 에너지를 공급하여 자기력을 발생으로 기계적인 변위를 만드는 가장 단순한 액츄에이터이다. 정밀한 제어를 설계하기 위해 먼저 솔레노이드 시스템의 수학적 모델을 고려하고 그에 따라 상태관측기를 설계하여 측정이 어려운 상태변수에 대해 상태추정을 하겠다.

3.1 시스템 모델

가동철심을 유도되는 자속(magnet flux)은 원통형 철재질의 가이드에 감긴 코일의 감은 수와 공급되는 전류량에 비례하며 가동철심이 위쪽으로 이동하면 공극이 작아지고 자기저항이 감소하게 되어 인덕턴스는 증가한다. 공급하는 전원을 V 라 하고, 구동코일의 저항은 R_{coil} , 코일의 인덕턴스는 L_{coil} 이고, 이동거리를 x 라 하면 KVL에 의한 관계식은 다음 식(10)에서 식(11)과 같다.

$$\frac{d}{dt}(L(x)i) = -R_{coil}i + V \quad (10)$$

$$L(x) = \frac{\pi d \mu_0 a N^2}{g_r} \frac{x}{x+a} = L' \frac{a}{x+a} \quad (11)$$

전원 저항은 코일의 저항에 비해서 작은 양으로 생략되었고, N 은 코일이 감긴 턴수이며, μ_0 는 진공상태의 투자율, d 는 가동철심 가이드의 직경에 해당하며, a 는 가동철심이 최대의 공극을 발생할 수 있는 길이이며, g_r 은 중력가속도이다.

가동철심에 작용하는 힘은 전원의 공급되는 기자력과 가이드와 가동철심간의 점성마찰력 그리고 스프링에 의한 탄성력이 작용하는데 힘의 관계식을 정리하면 다음의 식(12)에서 식(13)과 같다.

$$Mx'' = F_{mag} - Bx' - Kx - Mg_r \quad (12)$$

$$F_{mag} = \frac{\partial}{\partial x} \left(L' \frac{x}{x+a} i^2 \right) \quad (13)$$

B 는 점성 마찰계수, K 는 탄성계수이며, M 은 가동철심의 질량이다. 식(13)에서 코일을 흐르는 전류에 의해 발생하는 자속(flux linkage)의 누적한 총량은 전체 공급 에너지이며, 거리 x 에 따라 편미분하면 자기력과 같다.

3.2 상태관측기

시스템 모델 식(10)에서 식(13)을 이용하여 상태방정식을 유도하면 다음 식(14)에서 식(22)와 같다.

$$x_1' = x_2 \quad (14)$$

$$x_2' = g_m(x_1)u_1 + f_m(x_1, x_2, u_1) \quad (15)$$

$$f_m'(x_1, x_2, u_1) = 0 \quad (16)$$

$$g_m = \frac{aL'}{2M(x_1+a)^2} \quad (17)$$

$$f_m = \Delta g_m u_1 - \frac{B}{M} x_2 - \frac{K}{M} x_1 - g_r \quad (18)$$

$$x_3' = g_i(x_1)u_2 + f_i(x_1, x_2, x_3, u_2) \quad (19)$$

$$f_i'(x_1, x_2, x_3, u_2) = 0 \quad (20)$$

$$g_i = \frac{(x_1+a)}{L' x_1} \quad (21)$$

$$f_i = \Delta g_i u_2 - R_{coil} \frac{x+a}{L'} x_1 x_3 - \frac{a}{x_1(x_1+a)} x_2 x_3 \quad (22)$$

상태변수 $x = x_1$, $x' = x_2$, $i = x_3$ 로 하였다. 상태변수 x_1 이 분모에 포함되어진 강한 비선형 방정식이다. 상태방정식에서 식(14)에서 식(18)은 기계적인 방정식이고 식(19)에서 식(22)는 전기적인 방정식으로 $x_3^2 = u_1$, $V = u_2$ 으로 하여 관측기를 설계하면 다음 식(22)에서 식(24)와 같다.

$$\begin{pmatrix} \hat{x}_1' \\ \hat{x}_2' \\ \hat{f}_m' \\ \hat{x}_3' \\ \hat{f}_i' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \hat{f}_m \\ \hat{x}_3 \\ \hat{f}_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ g_m & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & g_i \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} \quad (22)$$

$$+ \begin{pmatrix} l_1 & 0 \\ l_2 & 0 \\ l_3 & 0 \\ 0 & l_4 \\ 0 & l_5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_m - \hat{y}_m \\ y_i - \hat{y}_i \end{pmatrix}$$

$$\hat{y}_m = (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0) (\hat{x}_1 \ \hat{x}_2 \ \hat{f}_m \ \hat{x}_3 \ \hat{f}_i)^T \quad (23)$$

$$\hat{y}_i = (0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0) (\hat{x}_1 \ \hat{x}_2 \ \hat{f}_m \ \hat{x}_3 \ \hat{f}_i)^T \quad (24)$$

식 (22)의 l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 는 관측기의 이득이고, 출력 식은 $y_m = x_1$, $y_i = x_3$ 이다. 식 (22)에서 식 (24)의 관측기를 이용한 상태의 오차방정식은 식(25)와 같다.

$$\begin{pmatrix} x_1' - \hat{x}_1' \\ x_2' - \hat{x}_2' \\ f_m' - \hat{f}_m' \\ x_3' - \hat{x}_3' \\ f_i' - \hat{f}_i' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -l_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -l_2 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -l_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -l_4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -l_5 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 - \hat{x}_1 \\ x_2 - \hat{x}_2 \\ f_m - \hat{f}_m \\ x_3 - \hat{x}_3 \\ f_i - \hat{f}_i \end{pmatrix} \quad (25)$$

식(25)의 오차방정식의 각 상태 오차들이 점근적 0으로 수렴하기 위해서는 특성방정식의 근이 좌반면에 존재해야한다. 오차방정식의 특성방정식을 구하면 식(26)과 같다.

$$\Delta(s) = (s^3 + l_1 s^2 + l_2 s + l_3)(s^2 + l_4 s + l_5) \quad (26)$$

특성방정식에서 3차방정식은 기계적인 부분에 대한 것이고, 2차방정식은 전기적인 부분에 대한 것이다. 기계적인 오차의 응답에 비해 전기적인 오차의 응답

이 빠르게 동작해야 함으로 모두 좌 반면에 근이 존재해야하며 2차의 근 실수부 크기가 3차의 근들의 실수부 크기보다 10배 이상이 되도록 이득을 설정한다.

IV. 분수차수 제어기의 설계

상태관측기를 바탕으로 PID 제어기를 구성하면 다음 식(27)과 같다.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = k_p + s k_d + \frac{k_i}{s} \quad (27)$$

초기치를 0으로 가정한 상태에서 오차를 입력으로 하는 적분변환으로 일반적인 PID 제어기의 전달함수를 표현한 식이다. 분수차수의 제어기를 구성하기 위해 식(9)를 이용하면 다음 식(28)과 같다.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = k_p + s^\alpha k_d + s^{-\beta} k_i \quad (28)$$

식(28)은 분수차수를 갖는 오차의 미분기와 적분기를 포함하는 식으로 이산시간 영역으로 변화하기 위해 이산변환을 하면 다음 식(29)와 같다.

$$\frac{U(z)}{E(z)} = k_p + k_d \left(\frac{1-z^{-1}}{T} \right)^\alpha + k_i \left(\frac{T}{1-z^{-1}} \right) \quad (29)$$

식(29)에서 적분차수는 1차로 하고 미분기에만 분수차수를 적용하였다. 이산 변환된 제어기의 전달함수를 차분방정식으로 변화하면 다음 식(30)과 같다.

$$u(k) = (k_p + k_i T) e(k) - k_p e(k-1) + \frac{k_d}{T^\alpha} \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \binom{\alpha+1}{m} e(k-m) \quad (30)$$

식(30)의 두 번째 줄의 항은 이항계수를 사용한 표현이다. 그리고 m 의 무한차수까지 표현된 식이다. 최종 이산시간 위치제어기는 다음의 식 (31)과 같다.

$$u_1 = \frac{1}{g_m} (u(k) + \hat{f}_m) \quad (31)$$

식(31)의 $u(k)$ 는 식(30)의 사용한다.

V. 시뮬레이션

솔레노이드 밸브의 matlab에서 가상실험을 하였다. 위치제어의 성능을 살펴보고자 일반의 PI제어기와 α 는 0.81, 0.71, 0.31의 분수차수를 갖는 제어기를 비교하였다.

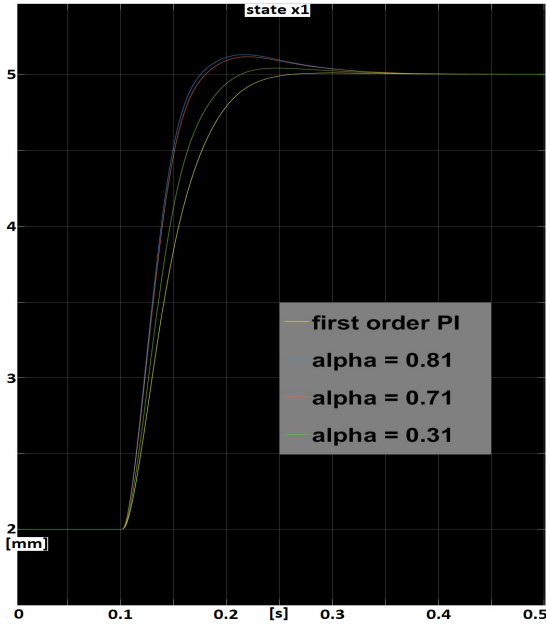


그림 1. 레퍼런스 위치 5[mm]
Fig. 1 The reference position 5[mm]

그림 1은 레퍼런스 위치를 5[mm]로 하였을 때의 위치 추종성능을 나타내고 있다. 시간 0.1[s]에서 기동하여 0.32[s]에 모두 정상상태에 도달함을 보이고 있다. 일반 PI제어기는 거의 임계제동에 모습을 보이고, 분수차수의 제어기들은 분수차수가 $\alpha = 0.81$ 인 경우 약 4.4[%]의 가장 큰 오버슈트가 발생하였지만, 목표치의 99[%] 이내의 기동시간에 대해서는 0.07[s]로 가장 빠른 응답을 가졌다. 정상상태에 도달한 시간 이후에 정상상태 오차는 모두 0.1[%]이내를 유지하였다. 상태추정기의 관측기이득은 표 2와 같다.

표 1. 관측기의 이득

Table 1. The gain of the observe

gain	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5
value	3K	9M	1G	200	10K

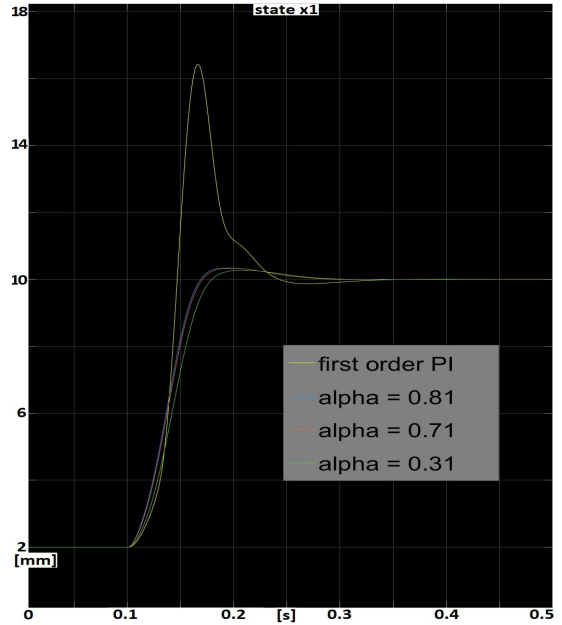


그림 2. 레퍼런스 위치 10[mm]
Fig. 2 The reference position 10[mm]

그림 2는 레퍼런스 위치를 10[mm]로 하였을 때의 위치를 추종한 결과이다. 시간 0.1[s]에서 약 0.2[s] 이내에 모두 정상상태에 도달하는 결과이다. 일반 PI제어기의 경우 약 65[%]의 오버슈트가 발생하고, 분수차수를 갖는 제어기들은 약 4.75[%]이내의 오버슈트가 발생하였다. 목표치의 99[%]이내에 도달하는 기동시간에 대해서는 일반 PI제어기가 약 0.05[s]로 가장 빠르고, 분수차수 제어기들은 그림 1과의 결과와 수치적으로 차이가 많이 나지 않은 결과를 얻었다. 그림 1과 그림2의 결과를 비교하면 레퍼런스 위치가 다르더라도 분수차수 제어기는 동일한 결과를 나타내는 일반 PI제어기의 제어 값보다 더 최적의 제어 값을 찾아내는 것으로 판단된다. 두 시험에서 관측기 이득과 제어기의 이득을 동일한 값으로 사용하였다.

V. 결 론

일반적인 PID제어기는 미분기와 적분기를 구성할 때 오차의 1차 미분과 1차 적분을 사용한다. 분수차수 제어기는 실수범위에서 미분과 적분으로 확장을 하여

제어기를 구성하는 것이다. 본 연구에서는 두 가지 제어기의 성능을 비교한 결과 분수차수 PD제어기가 레퍼런스 량이 변화하더라도 최적의 제어 값을 계산함으로써 제어 성능이 크게 변화하지 않은 결과를 얻을 수 있었다. 분수차수 제어기는 이산화하여 차분방정식으로 변환하는 과정에서 오차를 포함하고 있지만 그 오차를 개선하기 위해 m 을 6으로 하였다. 추후 분수차수 제어기의 구현에서 모델의 오차를 줄이는 방법과 적절한 제어이득과 분수차수의 선정 방법 등이 보완되어야 할 것이다. 또한 외란에 대해 강건한 제어기를 구성하는 방법도 연구되어야 할 것이다.

감사의 글

본 논문은 2017년도 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.(No.2017R1E1A1A03070483)

References

[1] M. Rahman, N. Cheung, and K. Lim, "Position estimation in solenoid actuators," *IEEE Trans. Industry Applications*, vol. 32, no. 3, 1996, pp. 552 - 559.

[2] T. Kajima, Y. Kawamura, "Development of a high-speed solenoid valve : investigation of solenoids," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, Vol. 42, No. 1, 1995, pp 1-8.

[3] M. Rahman, N. Cheung, and K. Lim, "Position estimation in solenoid actuators", *IEEE Trans. Industry Applications*, vol. 32, no. 3, 1996, pp. 552-559

[4] F. Malaguti, E. Pregnotato "Proportional Control of on/off solenoid operated hydraulic valve by nonlinear robust controller," *In Proc. the 2002 IEEE Int. Symposium on Industrial Electronics*, Vol. 2, 2002, pp. 415-419

[5] S. Obata, T. Haneyoshi and Y. Saito, "New Linear Solenoid Actuator for Humanoid Robot," *IEEE MEATRONICS2014-Tokyo*, Tokyo, Japan, Nov, 2014.

[6] L. Debnath, "A brief historical introduction to

fractional calculus," *Int. J. of Mathematical Education in Science and Technology*, vol. 35, no. 4, 2004, pp. 487-501.

[7] P. J. Torvik and R. L. Bagley, "On the appearance of the fractional derivative in the behavior of real material," *J. of Applied Mechanics, Trans of the ASME*, vol. 51, no. 2, 1984, pp. 294-298.

[8] B. Dumitru, Z. Güvenç, and J. Tenreiro Machado, "New Trends in Nanotechnology and Fractional Calculus Applications," *Springer*, 2010.

[9] J. Sabatier, O. Agrawal, and J. Tenreiro Machado, "Advances in Fractional Calculus: Theoretical Developments and Applications in Physics and Engineering," *Springer*, 2007.

[10] C. Ma and Y. Hori, "Fractional-Order Control: Theory and Applications in Motion Control," *IEEE Industrial Electronics Mag.*, vol. 1, no. 4, 2007, pp. 6-16.

저자 소개

강정욱(Jung-Yoog Kang)



2006년 신라대학교 수학과 졸업(이학사)
 2011년 한남대학교 대학원 수학교육학과 졸업(교육학석사)
 2016년 한남대학교 대학원 수학과 졸업(이학박사)
 2017년 ~ 현재 안양대학교 정보통계학과 교수
 ※ 관심분야 : 응용 수학

전용호(Yong-Ho Jeon)



1996년 광운대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)
 1998년 광운대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사)
 2008년 광운대학교 대학원 정보제어공학과 졸업(공학박사)
 2013.~2017.8 중원대학교 메카트로닉스학과 교수
 2017.9~현재. 중원대학교 항공정비학과 교수
 ※ 관심분야 : 가변속 시스템, 지능로봇 시스템