

# 서보모터를 이용한 Inline Co-axil 밸브 제어

이종엽<sup>†</sup>·정태규\*·이수용\*

## Control of Inline Co-Axial Valve using Servo Motor

Joong-Youp Lee, Tae-Kyu Jung, Soo-Yong Lee

**Key Words:** Control Valve(제어밸브), Speed Control(속도제어), PID Control(PID 제어), DC Motor(DC 모터)

### Abstract

Five control methods (Speed Control, PID Gain Scheduling, Loop Time Control, Simple PID, Switching Control) have been applied to the control of an Inline Co-axial valve by the simulation of AMESim. The simulation results have shown that the speed control method is the most stable and the fastest way to reach to the set point in the simulation of the flow control. Moreover, It has been found that the five control methods have the almost same characteristics in the power consumption, the counter electromotive force, and the motor angular velocity. According to the analysis results, the fast and stable control characteristics of the speed control method is the most suitable for the flow control using a inline co-axial valve with a DC(BLDC) motor.

### 1. 서 론

일반적인 DC모터는 플레밍의 왼손법칙을 이용하는 전동기이며, 단순히 전류의 방향을 역방향, 정방향 정류파를 만들어줌으로서 모터가 회전하게 된다. 이때의 전류를 공급부역할은 하는 것이 브러시(Brush)이며 전류가 회전체를 통해 전달되기 때문에 반드시 기계적인 요소가 필요하게 된다. 브러시는 정류자편에 전류를 공급해 주지만, 기계적인 요소이기 때문에 장시간(일반적 수명 - 2,000 시간 전후) 사용 시 브러시가 소손되거나 재료가 파손되면서 오염물질을 배출하는 단점이

있다. DC 모터의 장점은 제어가 간편하고, 토크가 전류에 비례하므로 단순히 전류제어만으로 토크를 직접제어 할 수 있는 특징을 갖는다(1).

반면, BLDC 모터의 경우 회전자가 영구자석으로 이루어져 있고 전류를 주는 고정자는 3상의 권선이 감겨져 있다. 3상이기 때문에 3상의 전원을 투입하면 내부에 회전자계가 생겨나고, 회전자는 회전자계와 동기화(Synchronous)하여 회전하게 된다. 브러시가 없기 때문에 브러시의 마모가 없는 것이 가장 큰 장점이 있고, 공간벡터제어(Space Vector Control)기법의 상용화로 기존의 DC모터를 대체해가면서 DC모터와 유사한 방법으로 전동기를 제어한다. BLDC 모터 또한 DC모터의 장점과 동일하게 토크 직접제어가 가능하며 뿐만 아니라 속도제어 및 위치제어 등에서 탁월한 성능을 발휘한다.

DC 모터의 속도제어를 위해 널리 사용되는 PWM 제어를 이용하고 있으며, BLDC 또한 구동을 위해 Encoder 위치 신호를 받고 3상의 전류를 사다리꼴 파형을 발생시킨 다음, 발생된 파형을

---

† 정회원, 한국항공우주연구원  
우주발사체미래기술연구소  
E-mail : leeje@kari.re.kr  
TEL : (042)860-2185 FAX : (042)860-2214

\* 한국항공우주연구원 우주발사체미래기술연구소

---

다시 PWM 신호로 변환하여 속도제어 및 위치제어 가능하도록 구성되어 있다. 결국 DC 모터의 속도제어를 위해 PWM제어를 사용하고, BLDC는 모터 Driving을 위해 PWM 제어를 사용하게 되므로 모터의 속도제어 및 동작특성 측면에서 DC 및 BLDC 모터의 성능은 동일하다 할 수 있다(1).

본 논문에서는 PWM 제어를 이용한 DC 모터의 속도제어 가능성 및 각 제어기법의 안정성을 확인해 보았다. 또, 모터의 속도 제어를 통해 발생된 토크를 이용하여 유량제어밸브를 제어하기 위한 여러 가지 제어기법을 제안 하였으며(2), 각각의 제안된 기법을 AEMSim (3, 4) 을 이용하여 모델링하였다. 유량제어를 주목적으로 하면서 모터 구동식 Inline Co-axial Valve의 경우 Speed Control 기법이 신속하면서 가장 안정적인 특성을 보였다.

## 2. 본 론

### 2.1 제어밸브의 유로부(Flow Area)

Equal percentage 고유유량 식을 이용하여 제어밸브의 개도를 제어할 수 있는 플런저(Plunger) 형상을 찾을 수 있으며, 결정된 유량식을 이용하여 오리피스 유량면적 및 유량계수를 구할 수 있다. 결정된 개도에 대한  $C_v$  식은 Fig. 1과 같이 플런저의 반경과 오리피스 유량면적, 수력직경( $D_h$ )의 형태로 세분화 시켰다(5). 또한, 모델링에 사용된 DC 모터의 정격특성은 Table 1을 이용하였다.

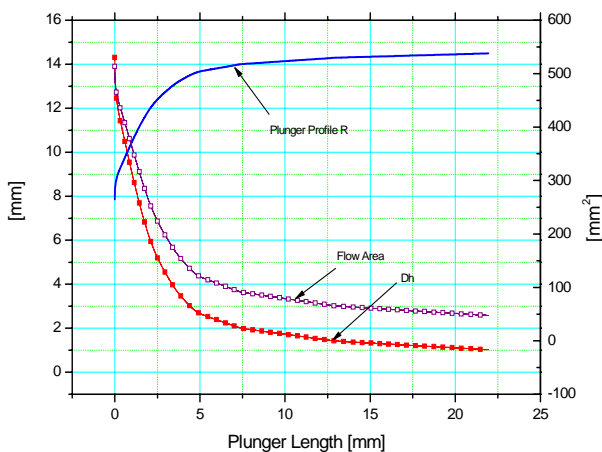


Fig. 1 Plunger Profile

Table 1 Specifications of Motor and Mechanical Parts

Specification	Unit	Value
Nominal power	W	5
Input voltage(DC)	V	27
Input power current(max)	A	0.5
DC resistance(20°C)	ohm	21
Rotor moment of inertia	kg-m <sup>2</sup>	0.54×10 <sup>-5</sup>
No load speed at 27V	rpm	2650~3450
Speed at nominal torque and 27V	rpm	2020~2510
Max torque	Nm	2.25×10 <sup>-2</sup>
Gear Ratio	null	1927.5

### 2.1 DC 모터 제어를 위한 5가지 제어기법

#### 1) PWM Controller

가변저항을 통해 전류를 감소시켜 모터를 제어할 수 있으나 저항을 통해 발열되도록 하는 전류 제어 방식은 전력소비가 큰 반면에 입력된 삼각파를 수십에서 수백 kHz의 사각파 형태로 출력하는 PWM 방식은 전력소비가 거의 없으면서 요구 전류만큼 감소시켜 DC모터의 속도제어를 자유자재로 할 수 있는 장점이 있다. 아래에서 제안된 5가지 Mode에 동일하게 PWM 제어가 적용되어 있다.

#### 2) Switching(On/Off) Control

입력된 신호에 대해 크면 닫고, 작으면 개방하는 단순한 명령을 전달하는 제어방식이다. 목표치에 모터 최대 속도로 매우 신속히 도달하나 모터의 회전 관성력으로 인해 목표치 근처에서 크게 Hunting되는 단점을 가지고 있다.

#### 3) Simple PID

자동제어 분야에서 가장 널리 사용되고 있는 제어방법이며 PID Tuning을 통해 얻은 Value를 입력하여 보다 신속하면서 안정적인 제어를 가능하도록 하는 방법이다. 단순 PID인 경우 시스템 변경이나 외란에 취약하며 특히 적절한 Tuning을 얻기 위해 많은 시행착오적 실험이 이루어져야 하는 단점이 있다.

#### 4) Loop Time Control

Dead Band를 두어 목표치에 도달하도록 하는 제어기법이다. 시스템 운용을 위해 System Loop Time이 존재한다는 가정 하에 사용될 수 있으며  $\Delta t$  만큼 개도를 수% 열고 닫으라는 지령을 내보내게 된다. Limit 상한선까지 기민하게 동작하며 목표치 근처에서는 어느 정도 안정적 추종한다.

### 5) PID Gain Scheduling

Simple PID 제어방법을 개선한 것으로서 PID Gain을 두 부분으로 적절히 분리하여 각기 다른 Value를 적용할 수 있다. 즉 Limit 상/하한선을 두고 다른 PID Gain을 입력할 수 있도록 하였으며, 특히 Simple PID인 경우 오직 한 Value에 의해서 동작하기 때문에 목표치에 신속한 동작을 요할 경우 목표치 근처에서 Hunting을 보이며 반대로 적용할 경우 목표점 도달 전까지 비선형형태로 저속으로 추종해가지만 목표점 근처에서 완만한 속도동작하여 안정적으로 제어되는 경향을 보이게 된다. 따라서 이러한 단점 즉, 속도와 안정적인 측면을 보완한 Gain Scheduling 방법은 목표치에 신속하게 접근하면서 안정적으로 제어하는 특징을 보인다.

### 6) Speed Control

속도제어(Fig. 2)를 통한 방법의 특징은 매우 간단하며 제어가 용이하면서 어느 시스템에서도 쉽게 Interface가 가능하다. PID Gain Scheduling과 Loop Time Control 처럼 동일하게 Limit가 있으며 이미 알고 있는 모터의 각속도값을 분리하여 입력하면 선형적으로 Limit에 신속하게 도달한 다음 Limit를 벗어나는 순간부터 이미 입력된 완만한 모터 회전으로 목표점을 추종하기 때문에 시스템의 불안정으로 인한 발산에 문제를 쉽게 제거할 수 있다. 이 제어기법은 PID Gain Scheduling처럼 비선형적 Limit 및 목표값에 도달되는 방식이 아니어서 시스템의 출력값이 선형성 보이는 큰 장점이 있으며, 특히 최대/최소 속도에 대한 제어가 자유로워서 일정 속도 제어를 위한 시스템에서는 PID Gain Scheduling 보다 용이하다.

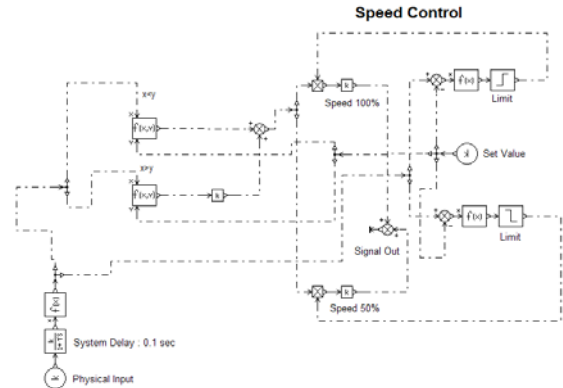


Fig. 2 AMESim Modeling of Speed Control Method

## 3. 결 과

Fig. 3에서의 입구압력을 Steady Flow가 되도록 일정하게 하고 이때 각 로직에 대한 최적화된 제어 입력값을 모두 찾는다. 또한 초기 추종속도(Limit 까지)는 모두 동일하게 최고 모터 속도가 되도록 하였다. 이미 Steady Flow에서 결정된 제어입력 값들을 그대로 사용하고 모든 시스템 구성 및 입력값을 일정하게 한 다음 외란유동을 입력했을 때 어떠한 경향을 보이는지 유량제어 측면에서 확인하였다. 제시된 제어기법에서 신속하게 목표치에 추종하면서 목표값 근처에서 가장 안정적으로 유지되는 것이 무엇인지를 시뮬레이션 결과를 통해 확인했다.

역기전력(Fig. 4)과 소비전력(Fig. 5) 측면에서 Speed Control이 상당히 안정적인 전력 소모가 이루어지는 것을 확인할 수 있다. Simple PID나 Gain Scheduling PID는 역기전력, 소비전류, 모터의 각속도에서 비선형성을 보임을 확인하였다.

Steady Flow 및 Disturbance Flow에서 유량제어 측면에서의 안정됨은 Speed Control > PID Gain Scheduling > Loop Time Control > Simple PID > Switching Control 순서로 안정됨을 확인하였다. 그 외의 소비전력, 역기전력 및 모터 각속도 동작 추이 측면에서도 위의 순서와 마찬가지로 우위를 보였다.

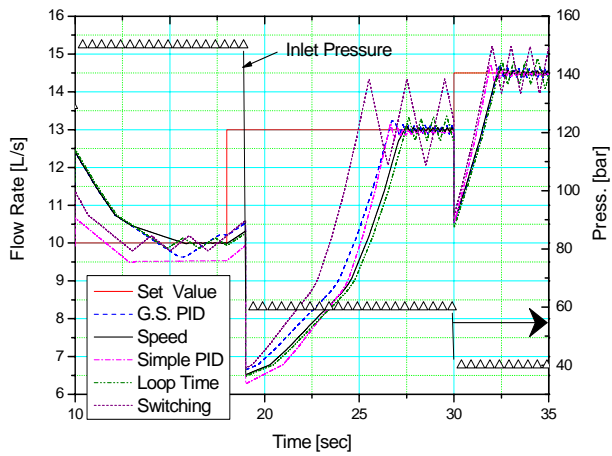


Fig. 3 Flow Control Characteristics with Control Methods under Disturbant Inlet Flow

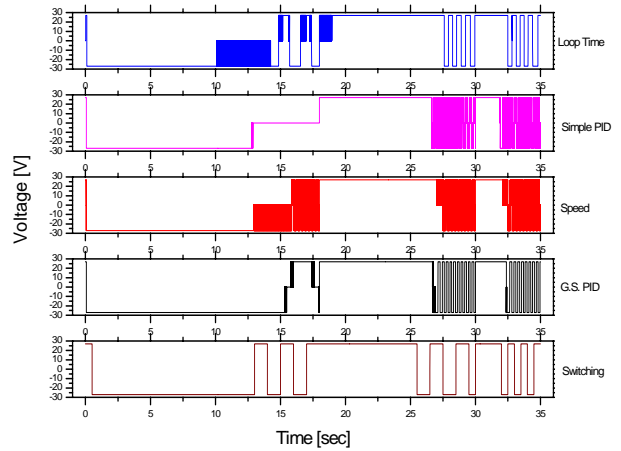


Fig. 6 PWM Signal for Motor Driving

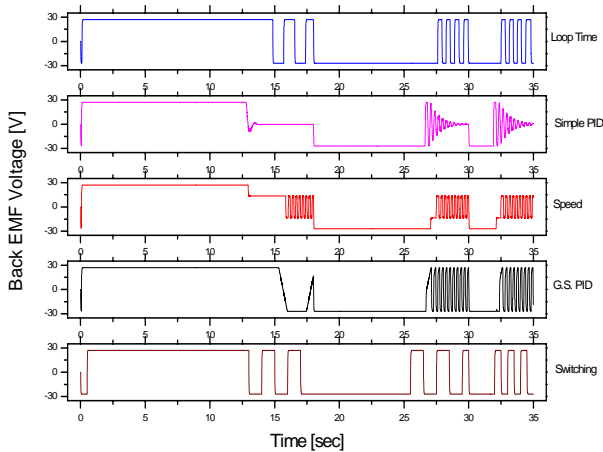


Fig. 4 Back EMF

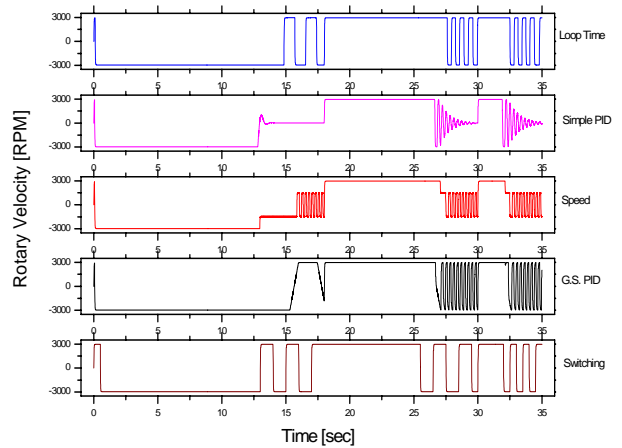


Fig. 7 Rotational Speed of Motor

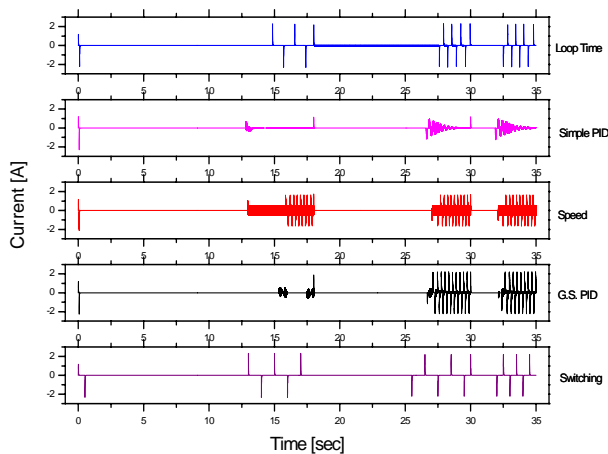


Fig. 5 Transition of Consumption Current

#### 4. 결론

Steady Flow 및 Disturbance Flow에서 유량제어 측면에서의 안정됨은 Speed Control > PID Gain Scheduling > Loop Time Control > Simple PID > Switching Control 순서로 안정됨을 확인하였다. 그 외의 소비전력, 역기전력 및 모터 각속도 동작 추이 측면에서도 위의 순서와 마찬가지로 우위를 보였다. 따라서 유량제어를 주목적으로 하면서 모터 구동식 Inline Co-axial Valve를 신속하면서 안정적으로 제어하기 위해서라면 Speed Control 기법을 추천한다.

## 참고문헌

- (1) 백수현, 1988, 소형모터설계 편람
- (2) Young-Mok Kim, Other, 2007, "R&D of Rocket Engine Thrust Control Technology," Technology Development of Performance Augmentation of Propulsion System for a Launch Vehicle, Reports(2007')
- (3) IMAGINE S.A., "Electric Motors & Drivers," AMESim Manual
- (4) IMAGINE S.A., "Thermal Hydraulic Component Design," AMESim Manual
- (5) Joong-Youp Lee, Tae-Kyu Jung, Sang-Yeop Han, Young-Mog Kim, 2006, "Characteristics of System Application using Control Valve," Aerospace Engineering and Technology, Vol. 5, No. 2, pp. 126~133.