

## 고속 설계시스템을 응용한 DC 서보 모터의 제어

최환도\*, 김재현(동아대 대학원 기계공학과), 김종완(동아대 기계산업시스템공학부)

### The Control of DC Servo Motor Applying High-speed Design System

H. D. Choi, J. H. Kim(Mech. Eng. Dept., DAU), J. W. Kim(Mech. Indus. Sys. Eng. Dept, DAU)

#### ABSTRACT

A controller was designed generally using C or assembly languages on high-speed design controller. But, in this paper, DC servo controller is designed using the cord of the block-diagram of SIMTool. By the method, we can design, realized and analyzed a control system quickly in real-time. And we expect that the various plants of a robot, vehicles are controlled through the outside I/O board changing the structure of the block-diagram of SIMTool into AUTOTool. In addition, our developed system helps the most suitable automatic controller design and tester with high-speed..

**Key Words** : DC servo(DC 서보), DSP(Digital Signal Processing), CEMTool/SIMTool, PID control(PID 제어)

#### 1. 서론

산업현장에서 생산성 향상과 품질개선을 위한 공장 자동화, 기계화가 가속됨에 따라 전기적 에너지를 기계적 에너지로 전환시켜줄 수 있는 모터의 사용이 크게 증가하고있고, 이를 제어하는 방법은 모터의 종류와 특성에 따라 여러 가지가 있다. 자동 제어 이론에서 사용되어온 PID제어기는 현재에도 자동생산 공정이나 단위 제어시스템에 가장 많이 쓰이고 있는 제어기의 하나이다. PID제어기는 각 파라미터가 잘 알려진 플랜트에 대해서는 원하는 응답을 얻도록 정확한 설계가 가능하고 안정적으로 동작하지만 실제 플랜트의 모델과 정확한 파라미터 값들을 찾기는 쉽지 않다. 따라서 relay feedback등 페루프 방식에 기초한 모델링과 PID 튜닝 기법들이 연구되고 발표되었다.

일반적으로 DC 서보 모터의 위치제어는 선형화 모델에 기초한 PID 제어방식을 채용하는 경우가 많다. DC 서보 모터는 출발이나 정지 시 토크가 크고 속도변환 영역이 넓고 구동 및 제어 회로가 간단하고, 제어 신호에 대한 응답속도가 빠르고 또한 토크 리플 제어가 용이하다는 장점이 있다.

본 논문에서는 모터의 동적 특성 즉, 전달함수 및

상태식을 CEMTool과 SIMTool의 블록 다이어그램의 기능으로 제어기를 설계한다. 그리고 AUTOTool을 이용하여 구성된 블록 알고리즘을 자동으로 C-code가 생성하여 DSP 보드에 이식되어 고속의 연산을 가능 하는 기능과 다양한 입출력 기능(아날로그, 디지털, 엔코더, PWM)을 수행하는 보드를 가지고 설계한 제어기 및 신호처리기 등의 성능 분석을 빠른 시간 내에 수행할 수 있다. 따라서 외부 장치에서 받은 신호를 처리하여 실시간으로 플랜트의 제어가 가능하도록 한다.

또한 서보제어기의 위치 제어부는 PID 제어형태로 하되, P, I, D gain 각각을 독립적인 반복학습 제어(iterative learning control)에 의해 원하는 성능이 나올 때까지 추적하도록 함으로써, 목표 사양들을 충족시키는 최적의 제어기를 설계되도록 한다.

#### 2. DC 서보 제어기의 블록 다이어그램

본 논문에서 사용한 DC 서보 모터 제어기의 사양은 Table 1.에 나타내었고, 실험에 쓰이는 실험장치는 모터의 회전에 의해 볼 스크류 위의 위치 이송부가 좌우로 이동하면서 원하는 위치를 찾아가는 구조로 되어있다. 모터의 회전운동을 모터에 결합된

엔코더의 Pulse 출력으로 위치 이송부의 직선운동의 위치를 알 수 있다. 이송부가 있는 변위의 값은 엔코더의 pulse 출력값으로 주어지고, 모터의 1회전당 8000pulse 출력(Encoder 블록에서 x4 선택 시)을 내며 1회전당 이송부의 이동거리는 5mm이고, 1mm당 400 pulse를 내는 정밀도를 지닌다.

Table 1 Specification of DC servo controller

List	Spec.
DC Servo Motor rated velocity	2000 rpm
Encoder Spec.(x1 Pulse output)	2000 Pulse
Encoder Spec.(x2 Pulse output)	4000 Pulse
Encoder Spec.(x4 Pulse output)	8000 Pulse
DC Servo Motor Input	between -10~10V Analogue Voltage Input

DC 서보 모터의 위치 제어를 위한 전체 구조도는 Fig. 1과 같다. 시스템의 부하변동이나 외란에 대한 강인성(robustness)이 우수하면서도 실제 구현하기 쉬운 일반적인 형태의 PID 제어기로 구성하였다.

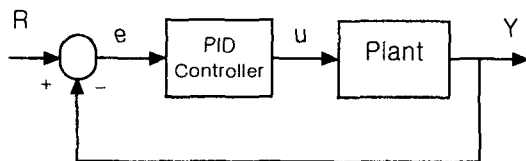


Fig. 1 Schematic of the displacement control

Fig 2.는 CEMTool/SIMTool을 이용한 실제 서보 모터의 전달함수를 구하는 블록 다이어그램이다.

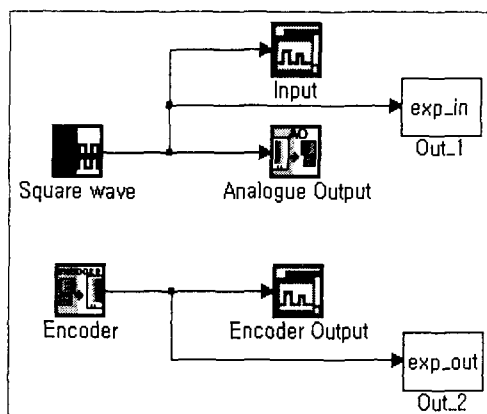


Fig. 2 Block diagram of finding transfer function  
실험에서 기준입력을 square wave로 주어 얻은

입출력 데이터 exp\_in과 exp\_out의 출력변수들의 값으로 CEMTool의 내부함수인 ARX(Auto Regressive with eXternal input)모델로 만들어 전달함수를 구한다.

이 실험에서 구해진 수학적 모델링(전달함수)을 이용하여 모의 실험 결과와 비교한다. 모터의 입출력 실험에 사용한 square wave 설정값에 대하여 모의 실험 블록을 구성한다. DC 서보 시스템에서 구한 전달함수가 Transfer Function 블록으로 구현된다. 다음 Fig.3은 실험을 통해 구해진 전달함수로 모의실험을 실행하기 위한 SIMTool의 블록다이어그램이다.

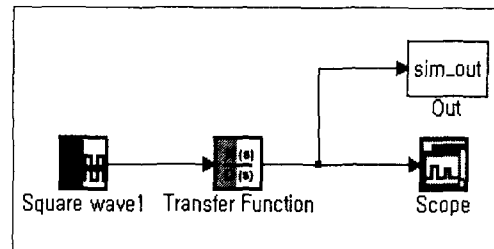


Fig. 3 Block diagram of simulating transfer function

### 3. 전달함수 및 상태방정식

앞장에서 해온 DC 서보 모터의 수학적 모델링과 시뮬레이션 그리고 실험을 통해 얻은 결과로 여기에는 실질적인 전달함수를 이용해 제어기를 설계한다. Fig. 3에 나온 실험결과는 다음의 Fig. 4에 나오는 그래프로서 모의실험의 출력값과 실제 엔코더의 출력값의 그래프가 서로 일치하는 것을 볼 수 있다

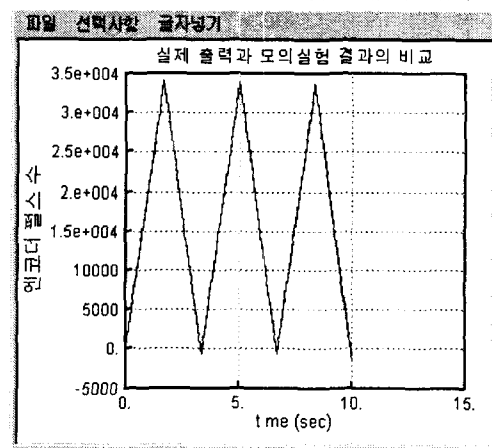


Fig. 4 Comparison of real and simulating output

그러나 실제로 모터를 구동시킬 경우, 제어대상인 모터의 정확한 동특성이 파악되지 않으면 성공적인 제어를 하기 어렵다. 따라서 정확하고 빠른 구동

이 어려워진다. 복잡하면서도 빠른 동특성을 지닌 시스템에 대해 실시간 제어가 어려운 것으로 판단되는 경우가 많은데, 이러한 불확실한 동적 시스템을 보다 단순하면서도 정밀하게 제어할 수 있는 방법으로 학습 제어 방법을 활용하고 있다.

불확실한 동적 시스템의 정확한 전달함수를 구하기 위해서는 전달함수의 차수를 달리 해 가면서 시뮬레이션과 실제의 결과값이 일치하는 지를 판단하여야 한다.

다음의 식(1), (2)는 본 실험의 제어대상의 DC 서보 모터의 전달함수이다.

$$G(s) = \frac{1.84 \times 10^4 s + 3.99 \times 10^5}{s^2 + 0.48 \times 10^3 s + 0.8598} \quad (1)$$

$$G(s) = \frac{1.1 \times 10^3 s^4 + 5.3 \times 10^5 s^3 + 3.2 \times 10^8 s^2 + 3.1 \times 10^{11} s + 8.3 \times 10^{13}}{s^6 + 7.4 \times 10^2 s^4 + 4.7 \times 10^5 s^3 + 1.3 \times 10^8 s^2 + 2.0 \times 10^{10} s + 8.3 \times 10^7} \quad (2)$$

식(1)은 전달함수의 분모의 차수가 2차 일때의 전달함수이고 식(2)는 전달함수의 값이 5차 일때의 전달함수식이다. 다음의 Fig. 5의 그래프는 구하여진 식(2)의 전달함수를 사용하여 위 전달함수가 실제로 DC서보의 구동에 맞게 되었는지를 알아보는 스텝응답 그래프이다.

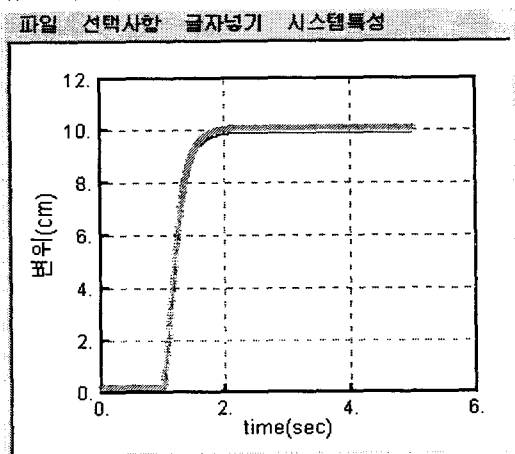


Fig. 5 Comparison of real and simulating step response

구하여진 전달함수의 값이 모의실험의 결과값과 일치한다면 DC 서보시스템의 동특성을 파악하기 위해 상태방정식을 구한다. 이때 상태방정식은 식(2)의 전달함수를 이용하여 CEMTool의 내부함수를 이용하여 다음과 같이 구하여진다.

$$\dot{x} = 10^{11} \begin{bmatrix} 0 & 0 & -0.0013 & -0.2 & -0.00081 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (3)$$

$$y = 10^{14} [0 \ 0 \ 0 \ 0.0031 \ 0.83] x + 0 \times u \quad (4)$$

#### 4. PID 제어기 설계

본 논문에서는 DC 서보 시스템의 제어기 설계를 위해 PID제어를 사용한다. PID제어기는 비례-적분-미분 제어기로서, 실제 산업현장에서 가장 많이 사용되는 제어기법이다. Fig. 1에서 보듯이 제어기로 입력이 되는 값은 플랜트의 출력값과 플랜트가 출력해야하는 값의 차인 오차신호( $e(t)$ )이다. 일반적인 대부분의 제어기는 오차신호를 피드백하여 제어기 출력신호를 출력하도록 설계되어 진다. PID 제어기의 오차신호를 수학적으로 다음의 식(5)와 같이 처리하여 제어신호( $u$ )를 출력한다.

$$u = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (5)$$

여기서  $K_P$ 는 오차신호에 곱해지는 비례이득이며,  $K_I$ 는 오차신호의 적분값에 곱해지는 적분이득이고,  $K_D$  오차신호의 미분값에 곱해지는 미분이득이다. PID제어기의 성능을 향상시키는 것은 전적으로 이 이득값들을 어떻게 정하느냐에 따라 달려있다. 다음의 식(5)를 전달함수의 형태로 나타낸 것이다.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_P s + K_I \frac{1}{s} + K_D s = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} \quad (6)$$

PID제어기의 성능을 향상시키는 것은 이들 이득값을 어떻게 정하느냐에 달려있으며 다음의 표는 각각의 이득값들의 특성을 정리한 것이다.

Table 2 The characteristic of plants response about changing PID gain

응답특성 이득값	상승시간	오버슈트	정착시간	정상상태 오차
$K_P$	감소	증가	약간 변화	감소
$K_I$	감소	증가	증가	제거
$K_D$	약간변화	감소	감소	약간변화

Table 2의 특성을 이용하여, PID 이득값을 적절히 선택하여 PID제어기를 설계한다. 각각의 이득값의

변화가 다른 이득값을 변화시키는 효과를 낼수 있기 때문에 각각을 독립적인 제어에 의해 원하는 성능이 나올 때까지 추적하도록 함으로써, 목표 사양들을 충족시키는 최적의 제어를 설계되도록 한다

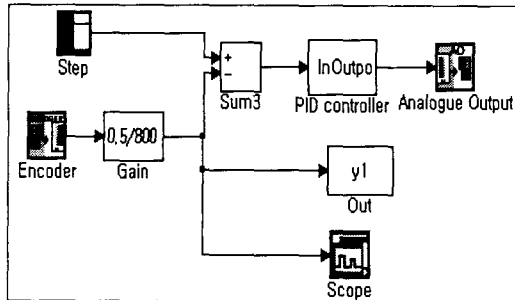


Fig. 6 Block diagram of step response using PID controller

Fig. 6은 SIMTool의 블록 다이어그램을 이용하여 DC 서보시스템에 입력을 스텝함수를 주어 실제 시스템에서 적용이 되는지를 엔코더의 출력값으로 PID 제어기의 안정성을 해석하기 위한 블록 다이어그램 구성도이다. 다음의 Fig. 7은 위 Fig. 6의 블록 다이어그램에서 PID 컨트롤러의 세부 블록 다이어그램이다.

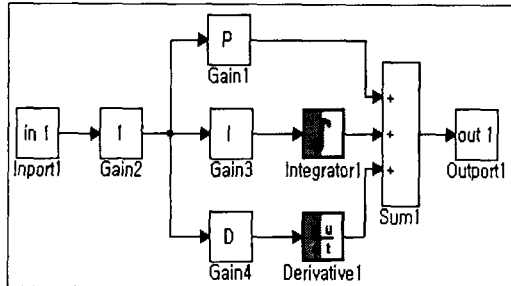


Fig. 7 Block diagram of PID controller

## 5. 실험 및 안정성 해석

본 장에서는 SIMTool의 블록 다이어그램으로 구현된 PID제어기로 Table 2.에서 제시한 P, I, D 각각의 이득값의 응답 특성을 고려하여 제어대상인 DC 서보 시스템의 제어성능을 충족시키는 최적의 제어성능을 가질 수 있도록 설계한다. 다음의 Fig. 8은 DC 서보의 위치 제어를 PID 제어기를 이용하여 수행한 모의실험과 실제실험에서의 응답특성을 비교한 그래프이다.

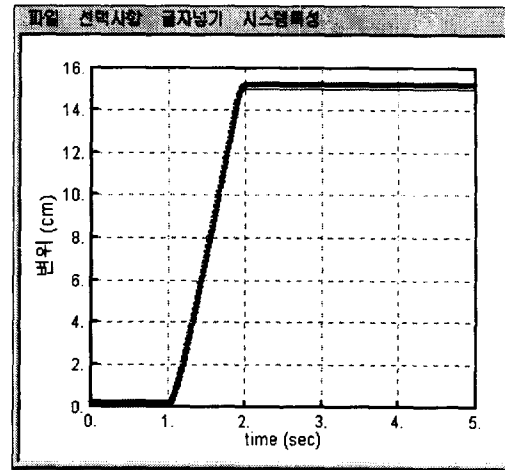


Fig. 8 Comparison of response characteristic

## 6. 결론

이상과 같이 CEMTool에 의해 SIMTool를 구성하여 시뮬레이션 해본 결과 본 시스템의 제어성능과 알고리즘은 만족할만한 수준이었다. 또한 본 실험에서 모델링한 DC 서보모터와 볼스크류를 이용한 직선운동 시스템을 CEMTool SIMTool 상에 실제 모델과 최대한 유사하게 구현되었으며 설계한 PID제어 알고리즘을 적용하여 최적의 파라메타값을 산출하였다. 추후과제로 미지의 플랜트에 대한 정확한 정보 없이도, 외란에 강인하고 우수한 위치추적성능을 갖도록 응답 및 수렴속도를 결정하는 학습이득의 최적설계와 다양한 soft computing 기법의 구현등을 고려하고 있다. 그리고 튜닝(tuning), 학습 알고리즘(learning algorithm)을 개발하는 연구가 필요하다.

## 참고문헌

1. Gu, Y. and Loh, H., "Learn control in robotic systems", Proc. IEEE Int'l Symposium on Intel-ligent Control Philadelphia, Pa., pp. 360-364, 1987.
2. P. Vega, C. Prada and V. Alexiandre, "Self-tuning predictive PID controller", IEEE Proceeding-D, vol. 138, no. 3, pp. 303-311, 1991.
3. J. G. Ziegler and N. B. Nichols, "Optimum setting for automatic controllers," Trans. ASME, vol. 64, pp. 759-768, 1942
4. 허경무, 이은오, 조영준, "DC 모터 서보 제어기의 자동설계 S/W 개발" 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제 6권, 제 10호, pp. 888-893, 2000
5. 백승민, 국태용, "DC 전동기를 위한 PID 학습제어기" 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제 3권 제 6호, pp. 555-562, 1997.