

## 지글러-니콜스 자동 조율방법을 이용한 DC 서보 모터의 제어기설계

최환도\*, 이대훈, 하성윤\*\*(동아대 대학원),  
전연찬, 김종원\*\*\*(동아대 기계산업시스템공학부)

### Controller Design of DC Servo Motor Using Ziegler-Nichols Auto-Tuning Method

H. D. Choi\*, D. H. Lee, S. Y. Ha\*\*(Mech. Eng. Dept., DAU),  
U. C. Jeon, J. W. Kim\*\*\*(Mech. Indu. Sys. Eng. Dept., DAU)

#### ABSTRACT

In this paper, we try to develop the controller which uses the block diagrams of SIMTool and internal functions CEMTool for planning the global driving controller for high efficiency AGV. We acquire the control efficiency by controlling the motor used each part of AGV driving controller. The block diagram structures provided with SIMTool is easily designed by the controller, and the monitoring and analysis of the results is researched by simulation. We expect to control AGV, robot and various plant using Ziegler-Nichols auto-tuning method and external I/O board

**Key Words** : AGV(Automatic Guided Vehicle : 무인운송차), DC Servo Motor(DC서보 모터), PID Control (PID 제어), CEMTool/SIMTool(셈툴/심툴), Ziegler-Nichols auto-tuning(지글러-니콜스 자동조율)

#### 1. 서론

최근 물류 증가에 따라 항만 이용률이 포화상태에 이르러 국제 경쟁력이 약해지고 있다. 이것은 항만의 자동화를 앞당기게 하는 이유이다.

이에 따라 항만 물류 자동화에 무인운반시스템을 도입하려는 연구가 수행되고 있다.

AGV는 RMS(Remote Maintenance System) 활성화의 추세에 따라 등장한 무궤도 무인 반송 시스템으로서 컴퓨터에 의해 제어되는 자체의 구동력으로 이동하는 첨단 물류 시스템이다, 이는 작업자가 기기의 관리에만 필요하게 되므로 인력의 감소가 가능해진다.

본 논문에서는 AGV 제어시스템의 최소단위인 모터를 제어함으로서 단위 제어시스템으로부터 전체의 총괄제어기를 설계하고자 한다. 그리고 본 연구에서 구현하고자 하는 제어기는 PID제어기로 구성한다. PID 제어방식은 각 파라미터가 잘 알려진 플랜트에 대해서는 원하는 응답을 얻도록 정확한 설계가 가능하고 안정적으로 동작한다. 설계하고자하는

AGV의 구동계의 총괄제어기는 DC 서보시스템으로 구성하여 실험과 시뮬레이션을 통해 적합한 제어성능을 가졌는가를 판정한다. DC 서보 모터의 위치 제어는 선형화 모델에 기초한 PID제어방식을 채용하여 적용하지만, 실제 플랜트의 모델과 정확한 파라미터값들을 구하기 위해서는 많은 실험들을 통해 구해야 하기 때문에 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서는 PID 자동조율 방법 중 지글러(Ziegler)와 니콜스(Nichols)가 제안한 자동조율 방법을 이용하여 적합한 제어성능을 가지는 제어기를 구현한다. 지글러-니콜스 자동조율 방법은 제어대상인 플랜트가 나타내는 과도응답의 형태로부터 PID제어기의 계수들을 정하는 방법으로 실제의 제어대상 시스템에서 간단한 몇 가지의 사전실험을 하고, 이 실험결과로부터 PID계수를 간단한 공식에 의해 결정할 수 있다.

이 계수조정법에는 두 가지가 있는데, 이 조정법들은 모두 많은 경험과 실험에 의해 얻어진 방법들로서 계단응답에서 최대초과가 약 25% 정도로 나타나는 대체로 무난한 성능을 보인다. 그렇지만 최적의 성능을 보장하는 방법은 아니므로 설계 뒤에는

반드시 성능검증과 필요에 따라 계수조정작업을 추가로 수행해야 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 DC 서보 제어 시스템 모델

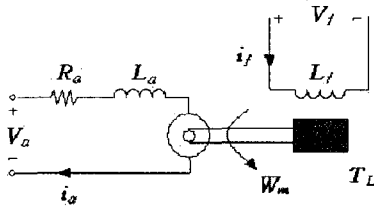


Fig. 1 Schematic of the DC Motor

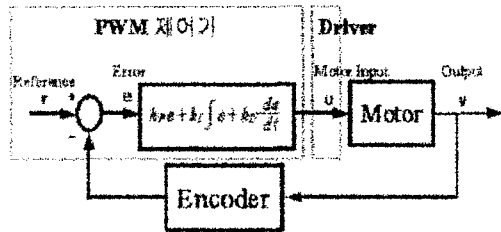


Fig. 2 Block diagram of DC servo system

본 논문의 실험에 사용된 DC 서보 시스템의 사양은 Table 1에 나타내었고, DC 서보 시스템의 모터 회전에 의해 볼 스크류 상의 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 1회전 당 8000pulse 출력(Encoder 블록에서 x4 선택 시)을 내며 1회전 당 이송부의 이동거리는 5mm이고, 1mm당 400 pulse를 내는 정밀도를 지닌다.

Table 1 Specification of DC servo controller

List	Spec.
DC 서보모터 정격속도	2000 rpm
엔코더사양(x1채배시 Pulse 수)	0.180° /Pulse
엔코더사양(x2채배시 Pulse 수)	0.090° /Pulse
엔코더사양(x4채배시 Pulse 수)	0.045° /Pulse
DC 서보 모터 입력	-10~10V 사이의 아날로그 전압입력

그리고 본 실험에 사용된 DC 서보시스템의 모터 제어방식은 PWM 방식으로 제어된다. PWM 방법은

모터에 인가되는 전압을 ON/OFF 시켜서 모터에 인가되는 평균 전압을 변화로 모터를 구동시킨다. 이 방법을 일반적으로 PWM(Pulse Width Modulation)이라 부르고 있다. 즉, 같은 주기 \$T\$ 동안에 펄스 폭 (pulse width)을 변조시키면 \$T\_{ON}\$ 시간에 따라서 모터에 가해지는 평균전압이 그림 (a), (b)와 같이 변하게 된다. DC 모터의 속도는 모터에 인가되는 평균 전압에 비례하므로 PWM 방법으로 한 주기 내의 펄스 폭을 조정한다면 속도 조정이 가능하게 된다. 일반적으로 전압이 \$+V\_f\$ [V]라면, 모터에 가해지는 평균 전압은 다음의 식(1)과 같다.

$$V = V_f \times T_{ON} / T [V] \quad (1)$$

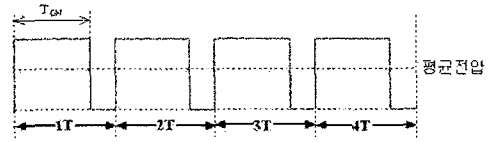


Fig. 3(a) The average voltage of input voltage wave

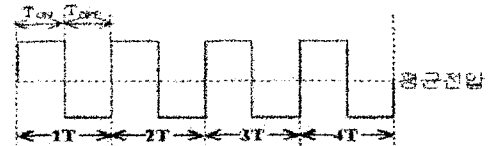


Fig. 3(b) The average voltage of input voltage wave

그리고 모터에 가해지는 제어입력은 다음의 식 (2)와 같다. 여기서 \$T\_s\$는 샘플링 시간으로 1ms 이내로 하는 것이 보통이다.

$$u = k_p e + k_i \sum_i e(i) + k_d \frac{e(n) - e(n-1)}{T_s} \quad (2)$$

본 실험에 사용된 시스템에는 고속 설계 제어부에 있다. 컴퓨터를 이용하여 제어기의 PID 이득값을 변경하여 실험하고, CEMTool/SIMTool을 사용하여 블록다이어그램을 생성 다양한 제어기를 구현하거나, 다양한 제어 실험과 해석이 가능하다.

### 2.2 실험방법

DC 서보 모터의 수학적 모델링을 통해 얻은 결과를 실질적인 전달함수를 이용해 제어기를 설계한다. 실제로 모터를 구동시킬 경우, 제어대상인 모터의 정확한 동특성을 파악되지 않으면 성공적인 제어가 어렵다. 따라서, 정확하고 빠른 볼 스크류의 이송

부의 위치제어가 어려워진다. 복잡하면서도 빠른 동특성을 지닌 시스템에 대해 실시간 제어를 위해 불확실한 동적 시스템을 보다 단순하면서도 정밀하게 제어할 수 있는 학습제어 방법을 활용하고 있다.

DC 서보 시스템의 제어를 위한 전체 제어기의 개략도는 Fig. 4에 블록다이어그램으로 간략하게 나타내었다.

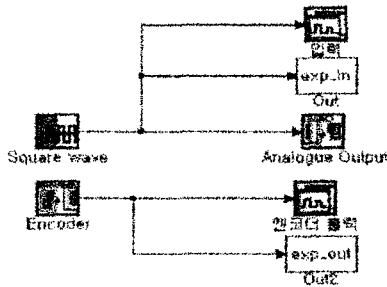


Fig. 4 Block diagram of finding transfer function

DC 서보 모터를 구동하여 엔코더로부터 모터 위치신호를 받을 수 있도록 하며, 또한 입출력 신호를 데이터로 저장할 수 있도록 2개의 out 블록으로 연결하여 구성한다. 입력신호는 Square Wave 블록을 사용한다. 입력신호인 Square Wave 블록의 파라미터는 Frequency는 0.7Hz, High Magnitude는 5V, Low Magnitude는 -5V로 설정하여 입력 파형에 대한 엔코더의 펄스 출력으로 구하여진 데이터를 변수값으로 저장한다. 본 연구에서 사용된 시스템 전달함수의 식별은 저장된 입출력 데이터를 이용하여 ARX(Auto Regressive with eXternal input)모델로 만들어, 시스템의 전달함수를 구한다.

### 3. 제어입력

#### 3.1 제어기설계

본 논문에서는 DC 서보 시스템의 제어기 설계를 위해 PID제어를 사용한다. PID제어기는 비례-적분-미분 제어기로서, 실제 산업현장에서 가장 보편화된 제어기법이다. Fig. 2에서 PWM제어기로 입력이 되는 값은 플랜트의 출력값과 플랜트가 출력해야 하는 값의 차인 오차신호( $e(t)$ )이다. 일반적인 대부분의 제어기는 오차신호를 피드백하여 제어기 출력신호를 출력하도록 설계되어 있다. PID 제어기의 오차신호를 수학적으로 다음의 식(3)과 같이 처리하여 제어신호( $u$ )를 출력한다.

$$u = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

여기서  $K_P$ 는 오차신호에 곱해지는 비례이득이며,  $K_I$ 는 오차신호의 적분값에 곱해지는 적분이득이고,  $K_D$  오차신호의 미분값에 곱해지는 미분이득이다. PID제어기의 제어성능을 향상시키는 것은 전적으로 이 이득값들을 어떻게 정하느냐에 따라 달려 있다. 다음의 식은 식(3)을 전달함수의 형태로 나타낸 것이다.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_P s + K_I \frac{1}{s} + K_D s = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} \quad (4)$$

PID제어기의 성능을 향상시키는 것은 이들 이득값을 어떻게 정하느냐에 달려있으며 다음의 Table 2.는 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

#### 3.2 파라미터설계

CEMTool에서 제공하는 내부함수를 이용하여 지글러-니콜스(ZN)함수를 이용하여 조율변수  $k_c$ ,  $\tau_i$ ,  $\tau_d$ 를 계산하였다. 이에 대한 결과를 Table 3.에 제시한다.

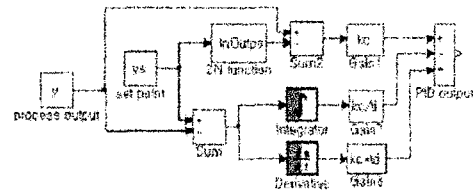


Fig. 5 Block diagram of ZN auto-tuning PID controller

Table 3 Values of ZN auto-tuning function

	$k_c$	$\tau_i$	$\tau_d$
P 제어기	$k_u/2.0$	-	-
PI 제어기	$k_u/2.2$	$p_u/1.2$	-
PID 제어기	$k_u/1.7$	$p_u/2.0$	$p_u/0.8$

여기서  $k_u$ ,  $p_u$ 는 각각 임계이득(ultimate gain)과 임계주기(ultimate period)를 나타낸다.

#### 4. 시뮬레이션 및 고찰

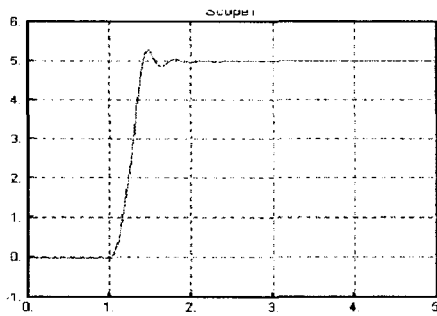


Fig. 6 Step response experiment result

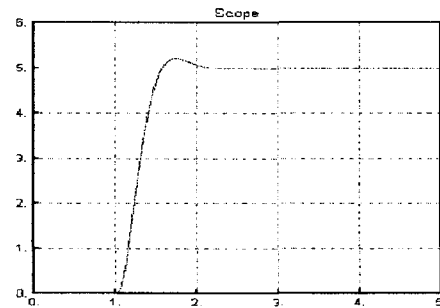


Fig. 7 Simple feedback response experiment result

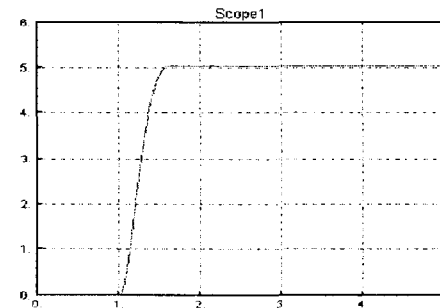


Fig. 8 PID control response experiment result

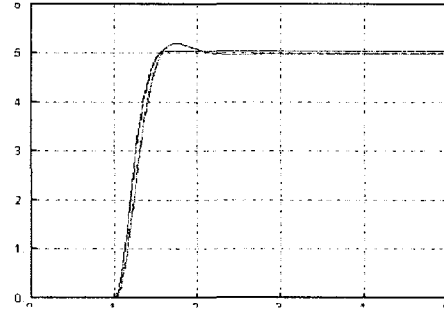


Fig. 8 Comparison of simple feedback and PID response result

#### 5. 결론

본 연구에서 DC 서보 제어 시스템의 볼 스크류를 이용한 이송부의 직선운동의 응답특성을 CEMTool과 SIMTool 상에 실제 모델과 유사하게 구현되었으며, PID제어 알고리즘을 적용하여 최적의 파라메타 값을 산출하였다. 추후과제로 외란에 강인하고 우수한 위치추적성능을 갖도록 응답 및 수렴속도를 결정하는 다양한 자동조율(auto-tuning) 기법과 soft computing 기법의 구현 등을 고려하고 있다.

#### 후기

본 논문은 동아대학교 지능형통합항만관리연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. Gu, Y. and Loh, H., "Learn control in robotic system", 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