

TMS-320C32기반에 의한 DC 모터 속도제어의 연구

정 순 현\*\*, 권 순 만\*\*, 천 중 민\*\*, 이 수 흡\*  
 한국 전기연구원\*\*, 거창 전문대학\*

A Study of DC Motor Speed Control By tms-320c32 Based

S.H. Jeong\*\*, S.M. Kwon\*\*, J.M.Cheon\*\*, S.H. Lee\*  
 Korea Electrotechnology Research Institute(KERI)\*\*, Geochang Provincial College\*

**Abstract** - 현대 산업현장에서 80%이상 사용되는 PID(proportional integral derivative)제어기는 제어성, 적용성, 제어이득 조정 등의 특징이 있으나 제어 대상에 대한 PID제어 계수를 경험적 방법인 수동으로 동조해야하는 문제점이 있다. 이를 개선하기 위해 본 논문에서 PID제어기의 최적 자동동조를 위한 릴레이 동조 방법을 제안한다. 기존의 한계감도법과 과도응답 법으로 초기계수를 결정하는 방법보다 유연성과 적용성이 높고, 이를 마이크로프로세서(DSP : TMS-320C32)에 적용하여 소프트웨어적으로 릴레이의 기능이 이루어지도록 설계했다.

이는 Ziegler-Nichols 계수조정법이 갖는 적용대상의 제약성을 극복한 방법이며, 릴레이에 의해 출력을 강제 진동시키고 출력의 진폭과 주기를 이용하여 PID 계수를 조정하고, 또 상대안정성의 척도인 위상여유를 고려하므로 시스템의 상대안정성과 견실성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

1. 서 론

근래에 많은 현대적 제어이론들이 개발되었음에도 불구하고 산업공정에서 지속적으로 널리 이용되고 있는 알고리즘은 대부분이 PID제어기이며, 그 이유는 시스템 구성의 단순성, 견실성 그리고 넓은 적용성의 장점으로 제어 기술자에게는 가장 익숙한 제어방식이기 때문이다.[1]

그러나 이러한 제어기들은 원하는 출력을 얻기 위해서 숙련된 기술자에 의하여 시행착오적으로 동조되고 있으며, 여기에는 많은 노력과 시간이 소비된다.[2] 최근에는 DDC(Direct Digital Control)레벨에서 마이크로 프로세서를 이용하여 여러 가지의 제어 알고리즘을 거의 실시간에 구현할 수 있게 되었으며, 특히 PID 제어기 계수를 자동으로 동조하는 연구가 활발히 진행되어 제어 시스템의 여러 방식으로 적용되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 동조방식을 착안하여 PID제어기의 최적 자동동조에 관한 Relay동조방법을 제안하고자 한다.[3] 이 방법은 1988년에 Astrom과 Hagglund가 제시한 Relay 동조 방법이며, 이를 마이크로프로세서(DSP:TMS-320C32)[4]에 적용하여 소프트웨어적으로 Relay의 기능이 동작되도록 설계하였다. 그리고 Relay 동조방법에서 각각의 PID계수를 구하기 위한 파라미터 결정방법과 Relay의 동작방법을 제시한다. Relay 동조방법이 Relay feedback에 의해 출력을 강제로 진동시키면서 출력의 진폭과 주기를 이용하여 PID계수를 조정하는 방법으로서 동조과정이 간단하여 동조방식의 구현이 쉬움을 보이고 상승시간과 최대초과를 고려한 조정법인 Ziegler-Nichols 계수조정법[5]보다 적용성과 유연성이 뛰어난을 보였다.

2. Relay 동조방식의 구성

이장에서는 제안된 Relay 자동동조방법을 서술한다. Relay 동조법의 정의와 정식화를 서술하고

동조방식의 간단함과 동조 방식의 용이성을 통해서 기존의 Ziegler-Nichols 계수조정법보다 적용성과 유연성이 뛰어난을 확인하고자 한다. 그리고 Relay 부가 제어기의 구성도, 실험장치의 구성 도를 보이고 DSP에 응용되는 알고리즘과 실험에 사용된 순서 도를 제시한다.

2.1 Relay 부가 제어기의 구성도

그림 2.1은 제어 시스템에 사용된 Relay 부가 PID 제어기의 블록선도를 나타낸 것이다.

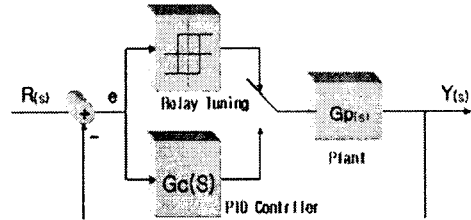


그림 2.1 Relay 부가 PID 제어기의 구성도

이 블록선도에서 나타낸바와 같이 목표치로 계단응답을 가하고 Relay를 제어기와 병렬로 페 루프로 추가하여 Relay 되먹임에 의해 출력을 강제로 진동시켜서 출력이 발진할 때 한계이득과 한계주기를 결정한 다음, 이 값들로부터 PID 계수를 선정한다. 즉, PID 제어기를 동조하기 위해 먼저 Relay를 동작시키면서 오차신호가 양이면 Relay 출력을 +로, 음이면 -로 제어하는 방식으로 출력을 발진시킨다. 이 때 기준입력은  $r(t) = 0$  으로 하거나 어떤 상수 값을 갖도록 한다. 그리고 이 진동 출력의 계수들로부터 PID 계수가 결정되기 전까지는 PID 제어기를 폐로에 연결하지 않는다. 즉, 동조 방식에서는 플랜트가 Relay 되먹임에 먼저 연결이 되고, 동조 방식이 끝난 후의 제어 방식에서는 PID 제어기가 플랜트에 연결된다.

2.2 실험장치의 구성도

그림 2.2는 실험장치의 구성 도를 나타낸 것이다.

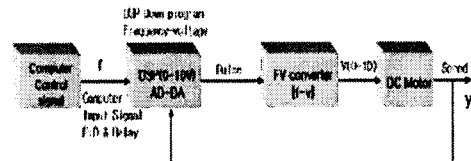


그림 2.2 실험장치의 구성도

제안된 구성 도에서 볼 수 있는 것처럼 컴퓨터에서 제어 신호와 제어대상의 동작을 제어하기 하기 위해서 DSP Down 프로그램과 통신 프로그램을 작성했다. DSP를 동작하는 프로그램에 Relay와 PID제어기를 설계하였고,

또 DSP에는 인터럽트를 주어 컴퓨터에서 던져주는 신호에 따라 발생하게끔 해서 DC모터를 구동할 수 있는 전압형 펄스로 출력하게 하였다. DC 모터에는 Encoder가 부착되어 있고, 출력된 펄스의 신호가 DSP의 DAC로 입력되어서 발생된 인터럽트 주기와 입력된 펄스를 비교에 의해서 목표 값을 찾아가게 하고, 이때 제안된 Relay와 제어기에 의해 계수를 추종하고 목표 값에 도달할 수 있도록 설계하였다.

### 2.3 Relay 동조방식의 정식화

제어대상을 수학적 모델로 유도할 수 있는 경우, 페루프 시스템의 과도 및 정상상태의 조건을 만족하는 제어기의 파라미터를 결정하는데 여러 가지 설계 방식의 적용이 가능하지만 제어대상이 너무 복잡하여 수학적 모델을 쉽게 얻을 수 없을 때에는 PID제어기 설계의 해석적 접근이 불가능하므로 제어기 설계에 실험적 접근이 필요하다. 따라서, 시뮬레이션에 사용한 PID 제어기의 전달함수는 다음과 같이 정의한다.

$$G_C(S) = K_P(1 + \frac{1}{T_I S} + T_D S) \quad (2.1)$$

여기서  $K_P$ 는 제어기의 비례이득,  $T_I$ 는 적분시간,  $T_D$ 는 미분시간이다. Relay의 자동동조 법에서는 정해지지 않는 플랜트나 여러 요인에 의해 변하는 대부분의 플랜트에 대한 Relay feedback은 임계진동에 가까운 주기를 갖는 진동을 나타내게 한다. 그림 2.3의 시스템에서 이러한 진동이 나타날 때 Relay의 진폭을  $A_r$ , 출력진폭을  $A_o$ 라 하면, 한계주기  $T_u$ 는 바로 진동출력의 주기와 같고, 한계이득  $K_u$ 는 다음과 같은 관계식으로부터 구한다.

그림 2.3은 비 감쇠 임계진동을 나타내는 응답곡선이다.

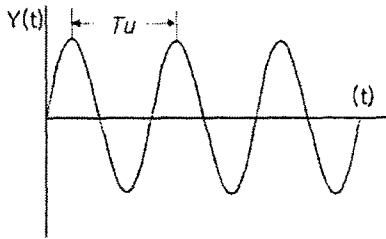


그림 2.3 임계진동의 응답곡선

$$K_u = \frac{4A_r}{\pi A_o} \quad (2.1)$$

Relay 동조 법에서는 이렇게 해서 얻어진 한계이득  $K_u$ 와 한계주기  $T_u$ 를 이용해서 다음의 간단한 설계 공식에 의해 PID 계수를 선정한다.

$$K_P = K_u \cos \Phi_m \quad (2.2)$$

$$T_I = \frac{T_u}{4\pi} (\tan \Phi_m + \sqrt{1 + \tan^2 \Phi_m}) \quad (2.3)$$

$$T_D = \frac{T_I}{4} \quad (2.4)$$

여기서  $\Phi_m$ 은 설계자가 미리 정해주는 위상여유로서 보통  $\pi/6 \leq \Phi_m \leq \pi/3$  [rad] 범위의 값을 사용한다. 이렇게 설계한 PID 제어기를 적용하였을 때, 만일 오버슈트가 크게 나오는 경우에는 위상여유  $\Phi_m$ 을 증가시켜 PID계수를 조정하면 오버슈트를 상당히 줄일 수 있다. 그러나  $\Phi_m$ 이 커질수록 응답속도가 느려지므로 적절히 절충 시켜야 한다.

### 3. 제어 알고리즘

이 장에서는 Relay를 이용한 최적의 자동동조 알고리즘을 다음과 같이 제시한다. 먼저, 본 논문에서 사용된 제어 장치의 순서 도는 그림 3.1에 나타내었다.[6,7]

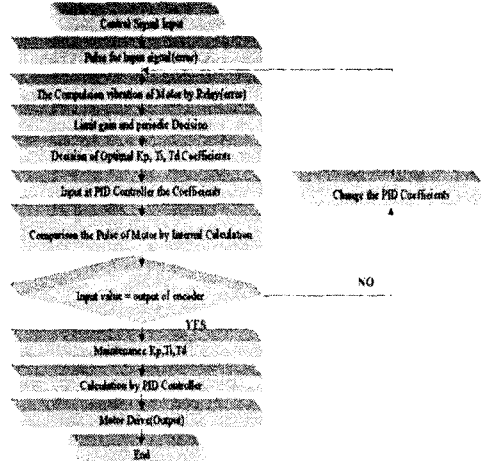


그림 3.1 제어 장치의 순서도

이런 순서 도를 가지는 제어장치를 Digital 연산으로 PID 제어기를 설계하기 위해서 아날로그 PID 제어기 알고리즘을 보면 다음과 같다.

$$MV = K_P(e + \frac{1}{T_I} \int edt + T_D \frac{de}{dt}) + MV_0 \quad (3.1)$$

$MV$ : 조작 량,  $MV_0$ : 조작 량의 초기 치이다.

이에 대한 디지털 PID제어기의 알고리즘은 다음과 같이 된다.

$$\Delta MVn = K_P [(e_n - e_{n-1}) + \frac{\Delta t}{T_I} e_n + \frac{T_D}{\Delta t} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2})] \quad (3.2)$$

초기 입력 값에서 일정 오차를 주고 내부적으로 동작하게 되는 Relay에 의해서 모터는 임계진동을 하게 된다.

그리고 이때 구해진 한계이득과 한계주기를 결정한 다음 PID의 계수를 동조하고, 위의 알고리즘에 입력 값으로 대입하게 된다. 이렇게 해서 결정된 PID제어기는 연산과정과 feedback 과정을 거쳐서 초기 목표 값으로 도달되게 되는 것이다.

### 4. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서 제시한 Relay 자동동조 PID제어기를 설계하고, 실험장치의 구동을 위해서 Visual C++을 이용하여 자동동조 프로그램을 구현하였다.

Relay 동조 법이 응용된 결과파형을 비교분석하기 위해서 비교연산에 의해서 목표 값을 찾아가는 경우, Relay동조 법을 적용한 경우와 적용하지 않았을 때의 결과를 각각 비교하였다. 먼저 어떤 제어기도 사용하지 않은 경우에서 입력 6V, 오차 3V를 주고 비교 분석에 의해서 목표 값에 도달하는 경우를 그림 4.1에서 보였고, 같은 조건에서 Relay동조를 사용하지 않았을 때와 사용했을 때의 파형을 그림 4.2와 4.3에 비교분석 하였다. 마지막으로 그림 4.4와 4.5는 입력 6V, 오차 1V를 비교하였다.

먼저 다음의 파형은 제어기를 사용하지 않았을 때의 파형을 그림 4.1에서 보였으며, 오차 값에서 목표 값을 선형적으로 추정함으로써 오버슈트는 발생하지 않지만, 목표 값에 도달하는 시간이 상당히 지연됨을 볼 수 있다.

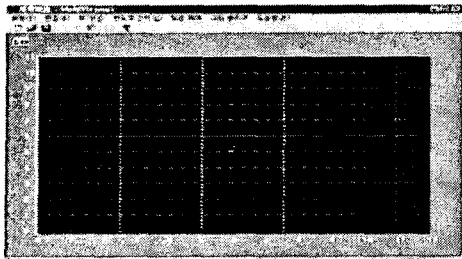


그림 4.1 비교 연산에 의한 실험결과 (Input-6V, Error-3V)

다음은 같은 조건에서 Relay 동조를 사용하지 않았을 때와 적용되었을 때의 파형을 나타내었다.

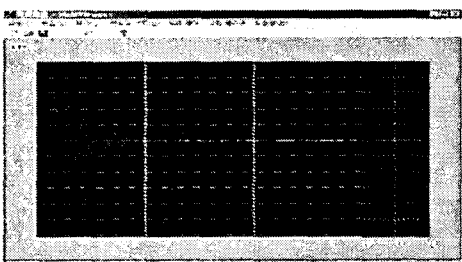


그림 4.2 PID 제어기에 의한 실험결과(Input-6V, Error-3V)

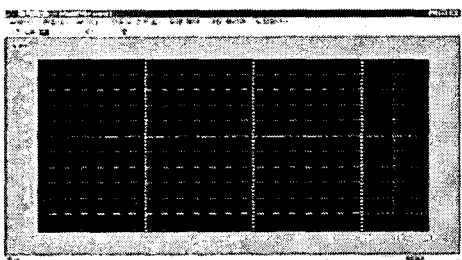


그림 4.3 Relay PID 제어기에 의한 실험결과 (Input-6V, Error-3V)

그림 4.2와 4.3은 입력 6V, 오차3V 일 때의 파형이며, Relay 동조를 사용했을 때가 그렇지 않았을 때보다 진동이 많이 줄어들고, 정정 시간이 빨라짐을 보이고 안정된 파형을 나타냄을 볼 수 있다.

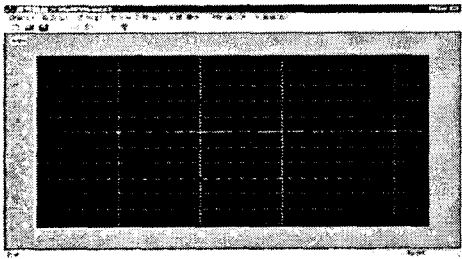


그림 4.4 PID 제어기에 의한 실험결과(Input-6V, Error-1V)

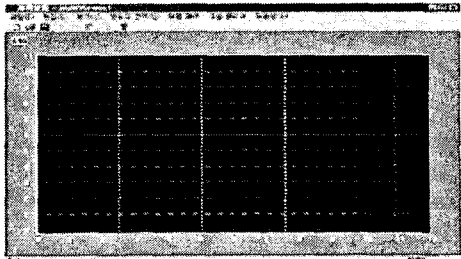


그림 4.5 Relay PID 제어기의 실험결과 (Input-6V, Error-1V)

위의 그림 4.4와 4.5는 입력 6V와 오차 1V에서 과행인데, 실험 결과 PID제어기만을 사용했을 때는 약간의 진동과 오버슈트 시간 지연 등이 있었지만, Relay를 사용했을 때는 파형들 중에서 가장 안정적이고, 입력 값에 대해서 거의 정확한 출력응답을 나타냄을 볼 수가 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 Ziegler-Nichols와 Relay 동조에 의한 자동동조 PID제어기를 비교 제안하였고, 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 입증하였다.

기존의 Ziegler-Nichols의 방법과 비교하여 이 방법의 특징은 다음과 같다.

안정하거나 극점이 원점에 있는 시스템에서는 Relay 되먹임에 의해 임계진동이 나타나기 때문에 이 설계기법을 적용할 수 있다. 그리고 제어대상이 정해져 있는 것이 아니라, 여러 가지 변화요인에 의해서 플랜트의 값이 변화더라도 제어기의 유연성이 뛰어나다. 그리고 상대안정성의 최도인 위상여유를 고려하여 PID제어기의 계수를 조정하기 때문에 시스템의 상대안정성과 견실성을 향상시킬 수 있다.

그러나 제어대상의 잦은 변화에 따른 스위칭의 응답특성 때문에 목표치에 이르기 위한 상승시간이 너무 느려지는 것, 그리고 제어대상의 목표치 설정에 가장 적합한 최적의 임계진동 폭을 결정하는 것이 향후 과제로 남는다.

## [참 고 문 헌]

- [1] GAWTHROP, P. J., "Automatic Tuning of Commercial PID Controllers computer control of real-Time processes.", IEEE control system magazine January, pp. 37-57, 1990.
- [2] D. K. Lim, "The Optimal Tuning of PID Controller", The Conference Electricity Engineering paper, Thirty volumes B. 11th, pp. 1075-1084, 1993.
- [3] U. H. Kown, O. K. Kown, K. S. Hong, L. H. Lee "Control system engineering", Cheong Moon Gak, pp. 293-353, 2001.
- [4] D. U. Yoon, "TMS320C32Master", Ohm, pp. 483-570, 2000.
- [5] U. H. Kown, O. K. Kown, K. S. Hong, J. H. Lee "Control system engineering", Cheong Moon Gak, pp. 320-328, 2001.
- [6] Karl j. Åstrom, Björn Wittenmark: "Computer-controlled System", PRENTICE HALL, pp. 293-323, 1997.
- [7] Oo SK, "Fuzzy Model and Control Theory Program", Ki Da Ri, pp. 235-328, 1999.