

가변 부하시 전문가 제어 기법을 이용한 직류 서보 전동기의  
속도제어기에 관한 연구

\* 윤 양 웅, \*\* 박 왈 서, \*\*\* 오 훈  
\*, \*\*, \*\*\* 원광대학교 전기공학과

A study on the speed controller for D.C servo motor  
using expert control technique in variable

\* Yang-Woung Yoon, \*\* Wai-seo Park, \*\*\* Hun Oh

\*, \*\*, \*\*\* Dept. of Electrical Engineering, Won Kwang University

Abstract

The idea of expert control is to incorporate a rule based expert system in a feedback control system. In this paper, we present some heuristic rules about input regulation and supervision and turning for D.C servo motor speed control in variable. The expert auto-turning PID controller which heuristic rules are used as an element of the feedback control system is implemented with the numerical algorithms and heuristic logics. The accurate control function is confirmed by computer simulation.

1. 서 론

산업의 자동화에 따라 직류 서보 전동기는 정밀한 제어가 요구되고 있다. 전동기의 속도제어는 마찰의 변화, 온도에 의한 저항의 변화, 부하변동 등이 고려되어야 한다. 특히 부하변동은 속도제어에 큰 영향을 주며, 부하변동에 따라서 수시로 제어계수를 조정해 주어야만 한다. 최근에도 현장에서는 구조가 간단하고 과도응답 특성이 좋으며 정상상태 오차를 제거할수 있어서 PID제어기가 널리 쓰이고 있다.<sup>[1][2]</sup> PID 제어기 파라미터는 기술자에 의한 시행착오 방식이나 Ziegler-Nichols 방법으로 결정하게 되고, 1984년에 Astrom 과 Hagglund 는 릴레이 실험을 이용한 동조법을 제안하였다.<sup>[3][4]</sup> 근래에 와서 Astrom과 Arzen 등은 PID 제어기 수행에 경험적 논리를 도입하여 단일 페루우프 시스템으로서의 전문가 시스템을 개발하였다.<sup>[5][6][7]</sup>

본 논문에서는 직류 서보 전동기의 가변부하시 부하토크에 맞는 PID 제어 파라미터 결정을 위한 입력 조절 시험을 제시한다. 입력 조절 시험은 Ziegler-Nichols 방법의 자동화 시키기 어려운 단점을 보완하였고, 페루우프 내의 릴레이에 의한 보다 쉽게 시뮬레이션할 수 있도록 개선하였다. 직류 서보 전동기의 부하토크 변화에 따른 감속과 동조규칙의 정보는 이론과 반복된 경험에 의해서 도출된다.<sup>[8]</sup>

2. 본 론

2.1. 직류 서보 전동기의 전문가 제어

경험적 규칙에 의한 직류 서보 전동기의 속도제어 시스템은 그림1과 같은 블록도로서 모델링 할수있다.

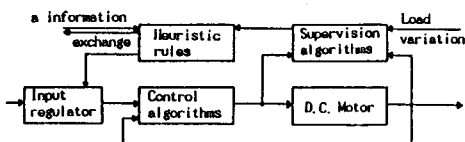


그림 1. 직류 서보 전동기의 전문가 제어 블록도  
직류 서보 전동기의 전달함수는 식(1)과 같이 쓸수 있다.

$$G(s) = K_t / (JL_s S^2 + (J R_a + B L_s) S + (K_t + k_b + B R_a)) \quad (1)$$

본 논문에서 사용된 직류 전동기의 파라미터는 다음과 같다.

- $J = 1.0 \times 10^{-3}$  [ N·m ] : 관성 모멘트
- $L_s = 8.6 \times 10^{-3}$  [ H ] : 전기자 인덕턴스
- $K_t = 17 \times 10^{-3}$  [ N·m/A ] : 토크 상수
- $K_b = 60 \times 10^{-3}$  [ N/rad·sec<sup>-1</sup> ] : 역기전력 상수
- $B = 0.0$  [ N / m·sec<sup>-1</sup> ] : 마찰계수
- $R_a = 3.2$  [ Ω ] : 전기자 저항

이상의 값을 식(1)에 대입하면 식(2)와 같다.

$$G(s) = 17 / ( 8.6 \times 10^{-3} s^2 + 3.2 s + 1.02 ) \quad (2)$$

PID 제어한 오차를 곱한 항과 적분한 항 그리고 미분한 항을 더하여 제어입력으로 보내는 제어방법으로 식(3)과 같이 쓸수있다.

$$G_c(s) = K_p + K_i / S + S K_d \quad (3)$$

논리적인 부분은 임계이득과 임계주기를 구하기 위한 입력 조절 규칙과 부하변동에 따라 제어 파라미터를 동조 시키기 위한 동조규칙으로 되어있다. 감속 알고리즘은 프랜트의 출력과 여러의 데이터가 모아지고, 설정값에 도달하는 동안의 평균값과 발진신호의 진폭(a)과 주기가 구해진다. 또한 부하토크의 변화를 감지하는 논리로 되어있다.

2.2. 입력 조절 규칙

입력 조절 시험의 기본 개념은 그림2와 같이 입력 조절기를 도입하여 프랜트가 인위적 발전을 하도록 하는데 있다.

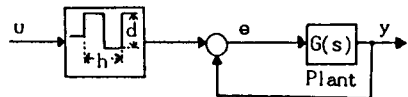


그림 2. 입력 조절시의 블록도

여기서 d는 입력 조절 진폭이며 h는 입력 Hysteresis 폭이다. 입력 조절 시험으로 얻어지는 공정에 관한 지식은 제어하고자 하는 공정의 개루프 이득을 Nyquist 선상의 한점값으로부터 도출하는 것이다. 이때 이득을 임계이득(Kc)과 주기를 임계주기(Tc)라 한다. 임계이득과 주기를 구하기 위한 입력 조절 규칙은 다음과 같다.

(1) 기준 입력 조절 규칙

IF  $e(k) \leq e^*$  then (2) 과정  
 IF  $e(k) > e^*$  then  $u(k) = u(k) + RT * u(k)$   
 단,  $e(k) = SP - y(k)$   
 $e^* = 0.01 * SP$   
 $RT = 1 - (y(k) / SP)$   
 $u(k)$ : 입력값  
 $y(k)$ : 출력값  
 $SP$ : 설정값

(2) 입력 조절 Hysteresis 폭(h) 결정규칙

$$h = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y(t-i) - \frac{1}{N+M} \sum_{i=1}^{N+M} y(t-T-i) \quad (4)$$
  
 단,  $0.99 * SP \leq y(t-N) < 1.0 * SP$   
 $T$ : 플런트의 시정수

(3) 입력 조절 진폭(d) 결정 규칙

$P_1 = u + (u/2)$   
 $P_2 = u - (u/2)$   
 단,  $P_1$ : 진폭의 최대값  
 $P_2$ : 진폭의 최소값

(4) 입력 조절 동작 선정

IF  $y(k) \geq 0.98 * SP$  then 입력 조절 가동

(5) 발진 안정 유무 결정

IF  $|K_{c1} - K_{c2}| < 0.02 * K_{c2}$  then 이득안정  
 IF  $|T_{c1} - T_{c2}| < 0.02 * T_{c2}$  then 주기이득  
 IF 이득안정 and 주기안정 then 입력조절시험안정

(6) 임계이득 및 임계주기 결정 규칙

IF 이득안정 then  $K_c = (4 * d) / (a * \pi)$   
 IF 주기안정 then  $T_c = (2 * \pi) / \omega$

2.3. 감속 규칙

본 논문에서는 부하토크와 관성 모멘트가 같은 비율로 변화한다고 가정했고, 부하토크 변화에 따른 동조 간격의 설정은 제어 정밀도에 따라 다르므로 시행착오에 의해서 결정된다.

(1) 부하토크의 자료수집

$$T_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T(K-1) \quad (5)$$

(2) 부하토크 변화에 따른 경보규칙

IF  $T_1 \leq W_1$  then TBO동조  
 IF  $W_1 < T_1 < W_2$  then (3)과정  
 IF  $W_2 \leq T_1 \leq W_2$  then TB1동조  
 단,  $W_1 = ((TBO + TB1) * a) / 2$   
 $W_2 = ((TBO + TB1) * b) / 2$   
 $TBO$ : 부하토크  
 $TB1$ : TBO + TBO \* 토크 증가율  
 $a, b$ : 경계값 결정변수

(3) 부하토크의 동향분석

IF  $T_1 - T_2 > 0$  then TBO동조  
 IF  $T_1 - T_2 < 0$  then TB1동조  
 IF  $T_1 - T_2 = 0$  then (4)과정

(4) 경계치값 (W1, W2) 내의 토크 크기 분석

IF  $T_1 < ((W_1 + W_2) * C) / 2$  then TBO동조  
 IF  $T_1 \geq ((W_1 + W_2) * C) / 2$  then TB1동조

단, C: 경계값 내의 동조구간 구분계수

2.4. 동조 규칙

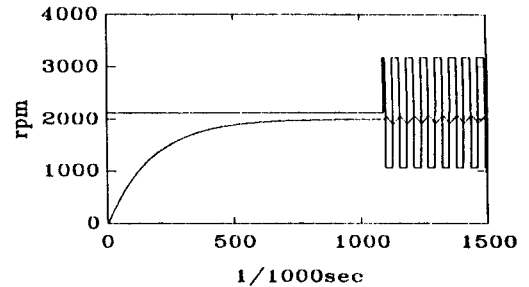
식(2)의 플런트는 목표값의 5.6(%)가 정상오차로 발생하기 때문에 이에 대한 보상을 해주어야 한다. 보상값은 적분요소로서 실험결과 7.06으로 정하였다. 동조규칙은 다음과 같다.

(1) 부하토크 변화에 따른 동조규칙

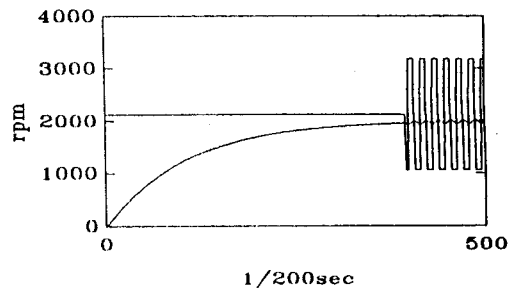
IF TBA동조 then  $K_{PA} = K_{CA} * 0.987$ ,  
 $K_{IA} = t_{CA} * 0.5 + 7.06$ ,  $K_{DA} = t_{CA} * 0.125$   
 단, A = 0, 1, 2, ...

2.5 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 무부하와 부하토크 200(%) 증가시에 입력 조절 시험을 수행하였다. 입력 조절과 출력 발진 형태는 그림3과 같다.



(a) 무부하



(b) 200(%) 부하토크 증가

그림 3. 입력 조절시의 발진형태

무부하에서  $t_{co} = 0.056$ ,  $K_{co} = 18.47$ 의 값이 구해지고, 200(%) 부하토크 증가시에는  $t_{c1} = 0.084$ ,  $K_{c1} = 46.497$ 이 구해졌다. 이 결과를 Ziegler-Nichols의 임계값과 동조계수와의 관계식 ( $K_p = 0.6 * K_c$ ,  $K_i = 0.5 * t_c$ ,  $K_d = 0.125 * t_c$ )을 사용한 것과 비교하여 보면 그림4와 같다.

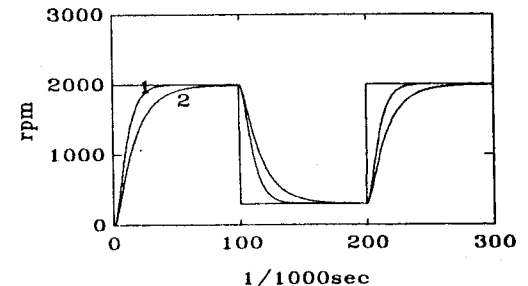


그림 4. 무부하에서 제시된 기법의 동조계수 사용(1)과 Ziegler-Nichols 동조계수 사용(2)에 의한 응답곡선

그림5는 무부하일때 무부하 파라미터 사용(1)과 200(%) 부하토크 증가시의 파라미터 사용(2) 응답곡선이다.

그림6은 200(%) 토포크 증가시에 무부하 파라미터 사용(1)과 200(%) 토포크 증가시의 파라미터 사용한(2) 응답곡선이다.

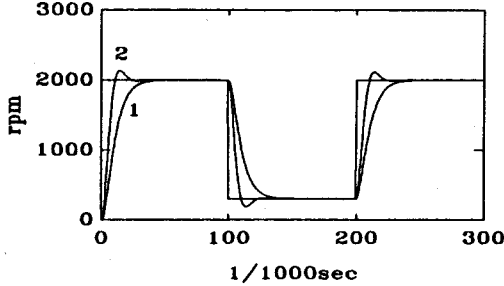


그림 5. 무부하시의 응답곡선

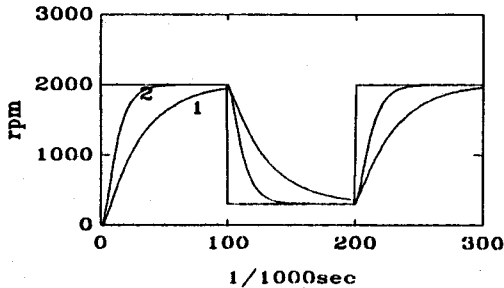


그림 6. 200(%) 부하토포크 증가시의 응답곡선

그림4에서 보는 바와 같이 응답곡선(1)은 (2)보다 빠른 응답을 보였고, (2)의 정상오차를 완전하게 제거하였다. 그림5에서 증가된 부하 파라미터를 사용한(2)는 과도응답 특성을 나타내고 있지만 (1)은 목표값에 부드럽게 도달하게 된다. 그림6에서 무부하 파라미터를 사용한(1)은 목표값에 도달하는 시간이 너무 오래 소요되므로서 부적합하고 부하증가에 맞는 파라미터를 사용한 응답곡선(1)이 적합하다. 그림에서 보듯이 부하가 증가하므로써 목표값에 도달하는 시간은 조금씩 길어지게 됨도 알수있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 서보 전동기가 가변 부하일때 입력 조절 시험에 의하여 PID 제어 파라미터를 구하고, 경험적 규칙을 이용하여 부하에 맞는 동조계수를 선택하는 전문가 자동 동조 제어기에 관하여 연구하였다. 이런 시도에 의하여 경험적 지식이 페루우프 시스템의 일부분으로 대치되므로써 제어 시스템이 새로운 능력을 보유하게 된다. 부하에 맞는 파라미터를 사용하여 정밀도가 개선됨을 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 보였다.

### 4. 참고 문헌

1. G.A. Dumount, C. Zervos and P.R. Belanger, "Automatic turning of Industrial Controllers", ACC, Boston, Vo.12, 1985.
2. Ceil L. Smith, "Digital Computer process control", International Text book co. 1872.
3. Astrom, K. J. , " Theory and Application of Adaptive Control-a survey ", Automatica, Vol.19, No.5, PP. 471-487, September, 1983.
4. Astrom, K. J. and T. Hagglund, "Automatic Turning of Simple Regulators with specification on phase and Amplitude margins", Automatica, Vol.20, PP.645-651, 1985.
5. Astron, K. J. , Anton, J.J. and Arzen, K.E. , "Expert control", Automatica, Vol.22, No.3, PP.277-286, 1986.
6. Arzen, K.E. , "Expert System for process control", Proc. 1st Int. Conf. Appl of AI in engng. Pract. , Southampton, U.K. , 1986.

7. 이창구 외 2인, "경험적 규칙을 이용한 자동동조 PID 제어기", 전기학회 논문지, Vol.39, No.5, PP.485-493, 1990.
8. K. Liu and J. Gertier, "A supervisory(expert) Adaptive Control Scheme", IFAC 10th world conference on automatic control, 1987.