

EXPERT 형 제어기법에 의한

STC에 관한 연구

○ 채 장 현 이 창훈 임은빈 우광방
연세대학교 대학원 전기공학과

A Study on the implementation of STC using the Expert Control Function

○ C. H. Chae C. H. Lee E. B. Yim K. B. Woo
YONSEI University Graduate School, Dept. of Electrical Engineering

ABSTRACT

Tuning of digital STC parameters for the system with unknown and time varying parameters as well as delays presents many preconditions and difficulties. In order to eliminate these difficulties and to enhance STC control functions, the present study employs the method of expert control for STC and to implement it in non-minimum phase plants.

In this paper, implementation of the Expert STC for process control, STC parameters is carried out by tuning systematically and by applying these parameters to non-minimum phase plant. This controller supervises a status of the plant, and robust control function for time delay or change of the plant is demonstrated by computer simulations.

1. 서론

최근 공정 제어 분야에서 향상된 제어를 수행하기 위하여 다양한 제어기가 개발되고 있으나, 동시에 실제 공정의 많은 문제점을 극복하기 위하여 숙련된 전문가의 경험적 지식이 결실히 요구되고 있다. 그러나, 이와같은 경험적 지식(Heuristic Knowledge)을 수식화 하는 데 많은 어려움이 따른다. 이러한 문제점 해결을 위하여 제어 시스템에 AI 기법을 도입하는 전문가 제어가 관심을 모으고 있다.

제어 시스템에 AI 기법을 도입하는 방법에는, 첫째 기존의 제어 알고리즘에 의한 출력을 감시하여 문제점 발생시 경험적 지식에 의해 처방을 하는 관리 제어(Supervising Control)[1, 23]와, 둘째 제어 알고리즘 자체에 AI 기법을 도입하는 지능형 제어기(Intelligent Controller)[24, 25]를 설계하는 방법이다. 전자의 방법으로 Aström 등[12]은 단일 폐루프 시스템에 적용하여 제어기가 수동, 동조, 고전 PID 모드가 선정되도록 약 70여개의 규칙을 적용하였다. 이 경우 대형 컴퓨터에 의해 시행되어 PC-Level에서 적용하기에는 문제점이 있다. Jiang 등[20, 21]은 전문가 시스템을 계층적 구조로 구성하여 모든 의사 결정과 오점 탐지(Fault Detection)를 관리 구조에서 수행하고, 제어 구조로는 PID 제어기를 사용하여 실시간에 적용하였으나, 폐루프 극점을 미리 알아야 하며, 폐루프 극점이 복소 쌍대값을 가져야 감시할 수 있다는 단점이 있다. 후자에 의한 방법으로 Sripada 등[24, 25]은 AI 기법과 Fuzzy 논리방법을 결합하여 프로세스의 실시간 제어에 적용하였으나, 이 AI 제어기는 Servo 제어기와 조절 제어기로 분리되며, 대상 프로세스에 따라 Fuzzy 논리를 위한 Fuzzy Set Membership 함수를 정의하여야 하고, 규칙 적용마다 정의된 변수의 결정에 따른 불확실성(Uncertainty)이 발생하는 단점이 있다.

본 연구에서는 공정 제어에 적합한 Expert형 제어기를 구성하기 위하여 플랜트의 현재 상태를 감시하여 불안정한 상태를 지시하는 불안정 상태 지시기[3, 10]를 개발하고, 지시기에 의해 제어 입력을 조절할 수 있도록 Expert형 STC의 지식 기반과 지식 기반에 의한 Scheduler를 개발한

다.

따라서 본 연구에서 구성되는 Expert형 STC는 1) 계통의 지연 시간이 미지이고 시변인 시스템, 2) 계통의 개개 변수가 미지이고 시변인 시스템, 그리고 3) 최소 위상뿐만 아니라 비최소 위상 시스템 등에 적용하여 문제점 발생시에 제어기가 스스로 감시하여 처방하도록 구성된다.

2. EXPERT 형 STC의 구조

Expert형 제어기의 구조는 전문가 시스템, 수치 알고리즘, 사용자 인터페이스의 세 부분으로 나누어지며 전체 시스템 구조는 그림1과 같다.

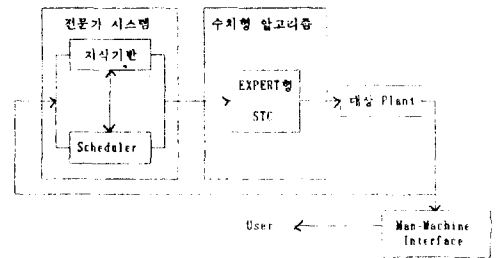


그림 1 Expert형 STC의 구조도

전문가 시스템은 지식 기반 시스템이 기본 구조가 되며, 지식 기반 시스템은 지식 기반과 지식 기반에 의한 Scheduler로 이루어진다. 지식 기반은 다양한 형태의 규칙으로 이루어지며 모든 규칙들은 If <Situation>, Then <Action>의 형식으로 구성되어 <Situation>은 프로세스의 상태를 기술하고 <Action>은 제어 입력의 적절한 변화를 지시한다. Expert형 STC를 구성하는 중요한 규칙들은 다음과 같다.

- (1) Expert형 STC의 활성화 규칙군,
- (2) Expert형 STC의 제한값 규칙군,
- (3) 불안정 상태 지시기의 규칙군.

이와 같은 지식 기반은 수치형 알고리즘에서 유도되어지며 지식 기반에 의한 Scheduler에 의해 Expert형 STC의 동작 모드가 결정된다. 본 연구에서 사용된 Scheduler는 제3장에 상술한다.

수치형 알고리즘은 제어 알고리즘과 동정 알고리즘으로 나뉜다. 제어 알고리즘은 Cameron과 Seborg[1]가 제안한 적응 PID 제어 알고리즘을 사용하며 동정 알고리즘은 확장된 최소 자승 알고리즘이다.

Expert형 제어기를 효율적으로 운영하기 위한 인터페이스는 Turbo-C와 Turbo-PROLOG 간의 인터페이스, 그리고 Turbo-PROLOG와 사용자와의 인터페이스로 이루어 진다.

Turbo-C와 Turbo-PROLOG 간의 인터페이스를 위하여 Turbo-PROLOG로는 앞서 기술한 지식 기반에 의한 Scheduler를 구성하고, Turbo-C로는 기준입력발생 모듈, 미지의 매개 변수를 추정하기 위한 동정 모듈, 시뮬레이션

모듈, 각 변수들의 초기값을 주기 위한 초기화모듈, Scheduler에 필요한 값들을 읽어들이는 모듈, Scheduler에서 발생된 값을 저장하는 모듈 등이 포함되어 있다. PROLOG와 C로 구성된 이러한 각 모듈들은 cpinit이라는 global predicate로써 PROLOG 모듈과 C 모듈들의 초기화를 시켜준 후, PROLOG에서 C 모듈들을 global predicate로 선언하면, PROLOG에서의 predicate와 마찬가지로 C 모듈들이 취급된다. 이 결과 인공 지능용 언어인 PROLOG와 제어언어인 C와의 인터페이스가 이루어진다.

또한 사용자와의 친밀도(User-friendly)를 높이기 위하여 Turbo-PROLOG에서 제공되는 window 기능을 이용하여 고정 제어 상태 표시 window, Dialog window, 시스템의 출력이 표시되는 출력 window 등으로 화면을 구성한다.

3. 지식 기반에 의한 Scheduler

3-1. Expert형 STC의 지식 기반 및 Scheduler

단일 입력력 CARMA(Controlled Auto-Regressive & Moving Average) 모델에 대해 Cameron과 Seborg[1]가 제안한 STC를 구성한다.

$$A(z^{-1})y(t) = z^{-k}B(z^{-1})u(t) + C(z^{-1})\xi(t) \quad (1)$$

여기서 $y(t)$ 는 측정 출력, $u(t)$ 는 제어 입력, t 는 샘플링 시간이다.

다항식 $A(z^{-1})$, $B(z^{-1})$ 와 $C(z^{-1})$ 는 역방향 변위 연산자(backward shift operator) z 의 항으로 표시되는 식(2)의 다항식이다.

$$\begin{aligned} A(z) &= 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n} \\ B(z) &= b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}, \quad b_0 \neq 0 \\ C(z) &= 1 + c_1 z^{-1} + \dots + c_n z^{-n} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $C(z^{-1})$ 의 모든 근들은 단위원 내에 존재한다고 가정한다.

STC는 식(3)의 보조출력 $\phi(t)$ 의 변위를 최소화시키도록 설계한다.

$$\phi(t) = P(z^{-1})y(t) + Q(z^{-1})u(t-k-1) - R(z^{-1})y_r(t-k-1) \quad (3)$$

여기서 $y_r(t)$ 은 기준 입력, 그리고 P, Q 와 R 은 제어기 매개변수를 결정하는 전달함수로 식(4)와 같다.

$$P(z^{-1}) = \frac{P_m(z^{-1})}{P_d(z^{-1})} \quad (4)$$

시간 $t-k-1$ 에서 $Qu(t-k-1)$ 과 $Ry(t-k-1)$ 은 알고 있으므로, 보조 출력 $\phi(t)$ 를 예상하는 문제는 $(t-k-1)$ 까지의 입력 출력 데이터가 주어졌을 때 식(5)를 예상하는 문제이다.

$$\phi_y(t) = P_y(t) \quad (5)$$

따라서

$$(a) \text{ 예상식: } C\phi_y^*(t/t-k-1) = (F/P_d) * y(t-k-1) + Gu(t-k-1) \quad (6)$$

$$(b) \text{ 예상오차: } \phi_y(t) = \phi_y(t/t-k-1) + E\xi_y(t) \quad (7)$$

여기서 다항식 $E(z^{-1})$ 와 $F(z^{-1})$ 는 식(8)로 주어지는 다항식이고 $G = EB$ 이다.

$$\frac{CP_m}{AP_d} = E(z^{-1}) + z^{-k-1} \frac{F}{AP_d} \quad (8)$$

따라서 식(8)을 식(1)에 대입하여 식(9)의 예상모델을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \phi(t+k+1) &= \frac{F}{CP_d} y(t) + \left[\frac{EB}{C} + Q \right] u(t) - Ry(t) + E(t+k+1) \\ &= \phi^*(t+k+1/t) + \tilde{\phi}(t+k+1/t) \end{aligned} \quad (9)$$

여기에서 ϕ^* 는 $(k+1)$ -step 앞선 예상치이고 $\tilde{\phi}$ 는 예상오차이다. 따라서 예상오차 $\tilde{\phi}(t+k+1/t)$ 를 0이 되도록 하면 $\phi(t)$ 의 변위를 최소화 하는 제어 법칙의 식(10)을 얻을 수 있다.

$$u(t) = \frac{CRy_r(t) - Fy(t)/Pa}{EB + CQ} \quad (10)$$

만약, 시스템의 매개변수 A, B 와 C 를 안다면, E 와 F 는 식(8)에서 구하여 식(10)을 만족하는 제어 입력을 계산한다. 시스템의 매개변수를 모르는 경우, 이 제어 법칙은 식(9)의 예상 모델과 더불어 STC를 위한 기초를 제공해 준다.

본 연구에서 이용된 예상 모델은 식(5)와 같이 출력 $y(t)$ 에만 종속적인 $\phi(t)$ 의 성분, $\phi_y(t)$ 를 기초로 하므로 식(9)는 식(11)과 같이 변형된다.

$$\phi_y(t+k+1) = \frac{F}{CR_d} y(t) + \frac{EB}{C} u(t) + E\xi_y(t+k+1) \quad (11)$$

만약 $C = 1$ 로 가정하면, 식(11)은 식(12)와 같으므로 선형 최소 자승 추정기법을 이용하여 시스템의 매개변수를 추정할 수 있다. 본 연구에서는 RELS기법을 적용하여 최대 지연시간이 $k=t/4$ 까지 변화해도 견실한 매개변수 추정이 되도록 한다.

$$\phi_y(t+k+1) = Fy_r(t) + Gu(t) + \varepsilon(t+k+1) \quad (12)$$

여기서 F 와 G 는 z^{-1} 로 표시되는 다항식이고, $\varepsilon(t+k+1)$ 는 잡음 $\xi(t)$ 의 동평균(moving average)이다. 식(10)을 다시 쓰면

$$u(t) = \frac{Ry_r(t) - Fy_y(t)}{G + Q} \quad (13)$$

식(13)이 PID구조를 갖기 위해서 F 다항식의 차수가 2가 되도록 선정한다. 또한 출력 $y(t)$ 와 기준 입력 $y_r(t)$ 가 정상 상태에서 일치하도록 R 을 선정하면 식(14)와 같다.

$$R = \left[\frac{F}{Pa} \right]_{z=1} = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{f}_i}{1 + Pa} \quad (14)$$

최종 단계로 기준입력만 적분항에 포함하기 위하여 다음과 같이 선정한다.

$$G + Q = (1-z^{-1})/v \quad (15)$$

이 방법에 의하면 기준 입력이나 부하의 변동이 있을 후에도 잔류 편차(off-set)를 제거할 수 있다. 식(14), 식(15)를 식(13)에 대입하여, 기준 입력만 적분항에 포함하는 PID 구조를 갖는 STC를 얻는다.

$$v u(t) = v [Ry_r(t) - (\hat{f}_0 + \hat{f}_1 z^{-1} + \hat{f}_2 z^{-2}) y_y(t)] \quad (16)$$

여기서 출력 필터는 다음과 같은 형태를 갖는다.

$$y_y(t) = y(t)/(1 + Pa_1 z^{-1}), \quad -1 < Pa_1 < 0 \quad (17)$$

따라서, 기준 입력이 적분항에만 포함하는 PID 제어기의 식(18)과 비교하면 제어기 매개변수들 식(19)와 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} v u(t) &= K_c [-y_y(t) + y_y(t-1) + (T_s/T_i) * [y_r(t) - y_y(t)] \\ &\quad + (T_d/T_s) * [-y_y(t) + 2y_y(t-1) - y_y(t-2)]] \\ &= (K_s T_s/T_i) * y_r(t) - K_c [1 + (T_s/T_i) \\ &\quad + (T_d/T_s)] * y_y(t) + K_c [1 + (2T_d/T_s)] * y_y(t-1) \\ &\quad - (K_c T_d/T_s) * y_y(t-2) \end{aligned} \quad (18)$$

여기서 $K_c = -v(2\hat{f}_2 + \hat{f}_1)/\alpha$

$$T_i = \frac{T_s K_c}{\nu \hat{f}_c / \alpha - K_c (1 + T_d / T_s)}$$

$$T_d = T_s \nu \hat{f}_x / (\alpha - K_c) \quad (19)$$

$$= 1 + P_{ai} \quad (20)$$

STC의 설계 변수 ν 는 제어 이득 K_c 와 똑같은 효과를 갖는다. 즉, ν 값이 크면 결과적으로 과도한 제어가 되어 부족감쇄 응답이 나타나고, 반면에 ν 값이 작으면 보다 완만한 제어로 과도감쇄 응답이 나타난다. $\nu = 0$ 일 때 개루프 제어가 된다.

Cameron과 Serborg는 식(15)를 만족시키기 위하여 Clarke-Gawthrop의 접근법을 개선하여 설계변수 ν 값을 영역적으로 추정하는 접근법을 사용하였다. 그러나 이 방법은 제어 대상의 안정도를 보장하기 위하여 최대 설계변수 값을 수정 Routh-Hurtz 판별법이나 Jury 판별법에서 구해야 하며 지연 시간의 변화에 따라 최대 설계 변수 값을 계산정해야 하므로 최적 지연 시간을 추정해야 하는 단점이 있다.

본 연구에서는 설계 변수 값의 초기값과 최대값을 결정하기 위한 지식 기반으로 설계 변수의 활성 규칙군과 제한 값 규칙군으로 대별한다.

설계 변수 값의 활성 규칙군은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{if } y(k) > (1 + e^*) * \text{ref}(aa), \text{ then } \nu &= \nu - e/ed \\ \text{if } y(k) < (1 - e^*) * \text{ref}(aa), \text{ then } \nu &= \nu + e/ed \end{aligned}$$

설계 변수 ν 값의 활성 규칙군은 시스템의 출력과 추정된 매개변수와의 추정오차가 클 경우($\text{eps} > 0.01$)에만 적용되는 규칙군으로 시스템의 출력이 기준 입력보다 과도한 경우와 부족한 경우로 나누어 설계 변수 값을 적절히 조절한다. 여기서 e 는 제어 오차이고 ed 는 플랜트의 이득에 따라 정해지는 실험값으로 $20 \times (2.5 + \log(f_3, f_4, f_5, f_6$ 의 절대값 중 큰 값))이면 모든 대상 플랜트에 만족한다. 또한 e^* 는 실험에서 정해지는 값으로 설정값의 0.3배 정도로 한다.

추정 오차가 작을 경우($\text{eps} < 0.01$)에는 설계 변수의 제한 값 규칙군이 적용된다. ν 는 0보다 작은 값이면 제어기 매개변수가 음수가 되므로 항상 양의 실수이다. 시스템의 출력과 추정된 매개변수와 추정오차가 작을 경우에는 값을 그대로 유지한다. 그러나 구해진 설계 변수의 값이 max 값보다 큰 경우에는 다음 규칙군에 의해 최대값보다 작도록 유지되어야 한다.

$$\begin{aligned} \text{if } \nu < \nu_{\min}, \text{ then } \nu &= \nu_{\min} \\ \text{if } \nu > \nu_{\max}, \text{ then } \nu &= \nu_{\max} \end{aligned}$$

따라서 ν 값은 항상 양수의 값으로 최대값 ν_{\max} 를 갖는 설계변수이다. 여기서 ν_{\min} 는 임의의 작은 양수값으로 여기서는 0.01이며 ν_{\max} 는 수치형 알고리즘에서 계산되는 값으로 다음과 같다.

$$\nu_{\max} = (\hat{f}_3 + \hat{f}_4 + \hat{f}_5 + \hat{f}_6) / (\hat{f}_3, \hat{f}_4, \hat{f}_5, \hat{f}_6 \text{의 절대값 중 두번째 큰값})$$

본 연구에서 제한한 방법으로 ν 값을 선정하면 ν 값을 임의로 선정할 수 있고, 시스템의 매개변수의 변화나 지연 시간의 변화에도 견실한 제어를 수행할 수 있으며, 설계 변수 ν 값의 초기값을 선정하지 않아도 되는 장점이 있다. 또한 비최소 위상시스템에도 적용가능하다.

위에서 설명한 지식 기반에 의한 Expert형 STC의 Scheduler는 그림 2와 같은 구성을 이룬다.

3-2 불안정 상태 지시기의 지식 기반 및 Scheduler

Astrom등[12]은 감시 기능을 확장하는 다양한 제어 전략을 제안하여 성능 감시 및 플랜트 인식의 감시까지를 포함시키는 동시에 전문가 시스템의 적용을 권장하였다. 본 연구에서는 다음과 같이 구성되는 불안정 상태 지시기의 출력에 임계값 테스트를 적용하는 방법을 제시한다.

$$X_{im}(k) = \text{abs}(y(k) - y(k-4)) / 2.$$

불안정 상태 지시기는 대상 플랜트의 출력을 감시하여, 지시기의 출력이 $W1$ 보다 큰 경우에는 Expert형 STC의 활성 규칙에서 ed 값을 최대값으로 보정한다. 그러나 제어 불능인 상황으로 지시기의 출력이 $W2$ 보다 큰 경우에는 Expert

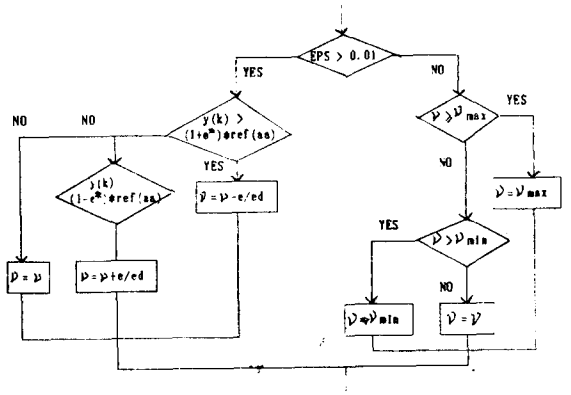


그림 2. Expert형 STC의 Scheduler

형 STC에서 설계 변수 ν 의 값을 적절히 조절하여 사용한다. 본 연구에서는 설계 변수 = 설계 변수 / 1.25를 실험적으로 사용한다.

여기서 $W1$ 과 $W2$ 는 본 연구에서는 다음과 같이 선정하여 사용한다.

$$\begin{aligned} W1 &= 0.4 * \text{설정값} \\ W2 &= 2 * W1 \end{aligned}$$

불안정 지시기의 규칙군은 다음과 같고 지식 기반에 의한 scheduler는 그림 3과 같다.

$$\begin{aligned} \text{if } X_{in}(k) < W1, \text{ then } ed &= ed_{\min} \\ \text{if } X_{in}(k) > W1, \text{ then } ed &= ed_{\max} \\ \text{if } X_{in}(k) > W2, \text{ then } \nu &= \nu / 1.25 \end{aligned}$$

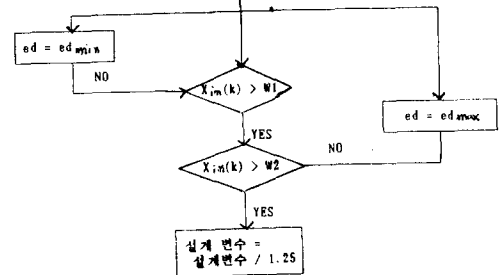


그림 3. 불안정 상태 지시기의 Scheduler

4. 측정 및 실험

본 연구에서 개발된 Expert형 STC의 성능을 검토 확인하기 위하여 IBM-PC/AT를 사용하여 시뮬레이션을 하였다. 본 연구에서는 Turbo-PROLOG를 이용하여 40개 내외의 규칙으로 지식 기반을 형성하였고, 이를 Breadth-First기법에 의하여 Tracking하여 제어 입력을 선정한다. 또한 Turbo-C에서는 시스템의 출력을 계산하도록 하여 이를 Turbo-PROLOG와 link시킨다. 실험에 사용된 조건은 다음과 같다.

- 조건 1. 설계 매개 변수 값의 초기값은 0이다.
- 조건 2. 시스템 매개 변수의 초기값은 모두 0이다.
- 조건 3. RELS 동적 기법에서 초기 Covariance 값은 10이다.
- 조건 4. 모형화 오차 및 잡음은 없다.

실험에 사용된 제어 대상은 다음과 같은 차분 방정식으로 표시된 시스템을 사용하였고 표1과 같이 실험하였다. 사용된 기준 입력은 150번의 샘플링 시간마다 기준 입력이 바뀌는 구형파이다.

$$\text{시스템 (1): } y(k) = 1.5832 * y(k-1) - 0.5866 * y(k-2) + 0.028 * u(k-1) + 0.0234 * u(k-2)$$

$$\text{시스템 (2): } y(k) = 1.5832 * y(k-1) - 0.5866 * y(k-2) + 0.028 * u(k-3) + 0.0234 * u(k-4)$$

$$\text{시스템 (3): } y(k) = 1.5832 * y(k-1) - 0.5866 * y(k-2) - 0.0231 * u(k-1) + 0.0745 * u(k-2)$$

시스템(4): $y(k) = 1.5832*y(k-1) - 0.5366*y(k-2) - 0.0231*u(k-3) + 0.0745*u(k-4)$
 시스템(5): $y(k) = 0.357*y(k-1) - 0.543*y(k-2) + 0.331*u(k-1) + 0.31*u(k-2)$
 시스템(6): $y(k) = 0.357*y(k-1) - 0.543*y(k-2) + 0.331*u(k-3) + 0.31*u(k-4)$

실험	대상	조건	결과	
실험 I	시스템(1)	시스템(2)	시스템(4)	그림 4
실험 II	시스템(1)	시스템(3)	시스템(5)	그림 5
실험 III	시스템(1)	시스템(3)	시스템(6)	그림 6
실험 IV	시스템(1)	시스템(3)	시스템(4)	그림 7

실험 I은 시스템(1)이 $k = 450$ 에서 지연 시간이 변하여 시스템(2)로 되고 $k = 900$ 에서 다시 시스템(1)로 바뀌는 실험으로 실험 결과는 그림 4과 같다. 실험II와 실험III은 시스템(1)이 $k = 450$ 에서 비례소 위상인 시스템(3)으로 되고 $k = 900$ 에서 대량 시스템의 시스템(5)로 되는 실험으로 실험 II는 시스템 매개 변수의 초기값이 0인 경우로 실험 결과는 그림 5와 같고, 실험 III은 모든 조건이 실험 II와 같으나 시스템 매개 변수의 초기값이 0.5인 경우로 그림 6과 같다. 실험I, 실험 II, 실험 III에 사용된 Expert STC는 매개 변수의 변화가 극심한 경우에는 불안정 상태 지시기에 의한 제어도 불구하고 기존 입력이 바뀔 경우 시스템 출력의 심한 변화가 나타남을 알 수 있다. 그러나 오버슈트 현상은 심하지 않다.

실험 IV는 시스템(1)이 $k = 450$ 에서 비례소 위상인 시스템(3)이 되고 $k = 900$ 에서 시스템 매개 변수와 지연 시간이 동시에 변하는 시스템(6)이 되는 실험으로 Expert STC를 사용하여 불안정 상태 지시기의 조절에 의한 제어로 결과는 그림 7과 같다.

5. 결론

공장 자동화에 있어 필수적인 각종 제어기에 대한 연구는 지난 수년동안 활발히 진행되어 최근에는 적응 제어 이론을 적용하여 성능이 우수하고 용도가 다양한 제어기들이 개발되고 있다. 그러나 작은 제어할 자기 위해서는 시스템의 안정도와 지연시간이나 매개 변수의 시간에 대한 변화에도 견실한 제어를 하기 위한 많은 문제점을 해결하여야 한다. 이들의 해결을 위하여 본 연구에서는 Expert형 제어기에 의한 STC를 구성한다.

Expert형 STC는 플랜트의 현재 상태를 감시하여 불안정 상태를 지시하는 불안정 지시기와 이에 의해 제어 입력을 조절할 수 있도록 Expert형 STC의 지식 기반과 Scheduler를 개발한다. 제안된 Expert형 STC는 Cameron과 Seborg가 제안한 STC의 단점인 설계변수를 자동 조정하도록 보완하여 1) 설계변수 값의 초기값 및 최대값의 선정 2) 지연시간의 시간에 따른 변화에도 견실한 특성을 보였다. 그리고 불안정 상태 지시기에 의한 동작 모드의 선정으로 환경에 따른 플랜트의 특성 변동시 제어기 매개 변수의 재동조를 수행하므로써 단위 공정을 효율적으로 제어할 수 있음을 실험적으로 증명하였다. 그러나 전문가 시스템을 구성하기 위한 지식 기반의 확충과 작용이나 외란등이 존재하는 플랜트에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

참고 문헌

1. F.Cameron and D.E.Seborg, "PID Structured Self-tuning Controller", INT. J. Control, Vol.38, No.2, 1983
2. R.Isermann, "Parameter Adaptive Control Algorithms - A Tutorial", Automatica, Vol.18, No.5, 1982
3. R.Isermann and K.H.Lachmann, "Parameter-Adaptive Control with Configuration Aids and Supervision Functions", Automatica, Vol.21, No.6, 1985
4. N.R.Sripada and D.G.Fisher, "Improved Least Squares Identification for Adaptive Controllers", ACC. vol.3, 1987
5. T.F.Chwee and H.R.Sirisena, "Self-tuning PID Controllers for Dead Time Processes", IEEE Tran. on Ind. Electronics, Vol.35, No.1, 1988

6. H.Kurz and W.Godecke, "Digital Parameter Adaptive Control of Process with Unknown Dead Time", Automatica, Vol.17, No.2, 1981
7. C.A.Tsiligiannis and S.A.Svoronos, "Deterministic Convergence of a Clarke-Gawthrop Self-tuning Controller", Automatica, Vol.22, No.2, 1986
8. P.S.Tuffs and D.W.Clarke, "Self-tuning Control of Offset: A Unified Approach", IEE Proceedings, Vol.132, No.3, 1985
9. J.Bruneau, "On Line Expert Supervision for Process Control", Proc. of 25th Conf. on Decision and Control, 1986
10. J.Gertler and H.S.Chang, "An Instability Indicator for Expert Control", IEEE Control Systems Magazine, 1986
11. K.E.Arzen, "Use of Expert Systems in Closed Loop Feedback Control", ACC., 1986.
12. K.J.Astrom, J.J.Anton, and K.E.Arzen, "Expert Control", Automatica, Vol.22, No.5, 1986
13. R.L.Moor, I.B.Hatkinson, and G.Knickerbocker, "Expert Control", ACC., 1985.
14. D.Ionescu, Ph.Lethebin, and I.Trif, "Expert System for Computer Process Control Design", Proc. IEEE. Int. Sym. on Intelligent Control, 1987
15. K.K.Gidwani, "The Role of Artificial Intelligence Systems in Process Control", Proc. ACC., 1985
16. D.D.Freeman, "Artificial Intelligent Applications in Process Control" Proc. ACC., 1985
17. W.F.Kaemmerer, and P.D.Christopherson, "Using Process Models with Expert Systems to aid Process Control Operators", Proc. ACC., 1985
18. M.Beaverstock, E.H.Bristol, and D.Fortin, "Expert Systems as a Stimulus to Improved Process Control", Proc. ACC., 1985
19. T.L.Trankle, P.Sheu, and U.H.Rabin, "Expert System Architecture for Control System Design", Proc. ACC., 1986
20. J.Jiang, and R.Doraiswami, "Performance Monitoring in Expert Control Systems", IFAC 10th. World Cong. on Automatic Control, 1987
21. J.Jiang and R.Doraiswami, "Information Acquisition in Expert Control System Design Using Adaptive Filters", Proc. IEEE Int. Sym. on Intelligent Control, 1987
22. B.Porter, A.H.Jones, and C.B.McKeown, "Real Time Expert Controllers for Plants with Actuator Non-linearities", Proc. IEEE Int. Sys. on Intelligent Control, 1987
23. B.Porter, A.H.Jones, and C.B.McKeown, "Real Time Expert Tuners for PI Controllers" IEEE. Proc. vol.134, July, 1987
24. N.R.Sripada, D.G.Fisher, and A.J.Morris, "AI Applications for Process Regulation and Servo Control", IEEE. Proc. vol.134, July, 1987
25. N.R.Sripada, D.G.Fisher, and A.J.Morris, "Application of Expert-tems to Process Problems", Energy Processing, 1985

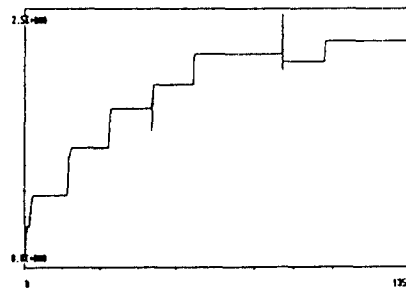


그림 4 a 실험 I의 설계 변수의 값

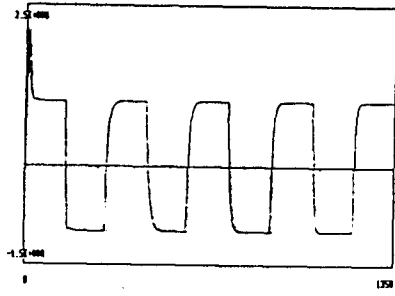


그림 4-b 실험 I의 제어 입력

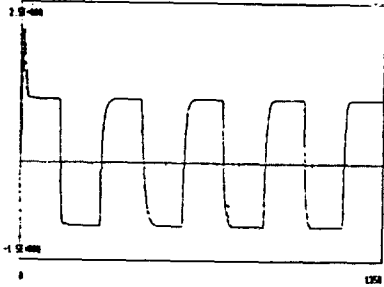


그림 4-c 실험 I의 출력

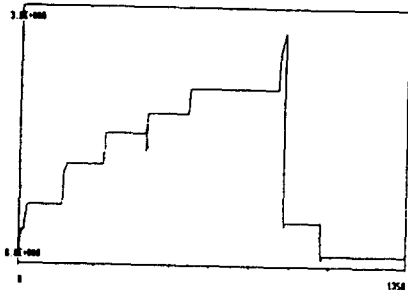


그림 5-a 실험 II의 설계 변수의 값

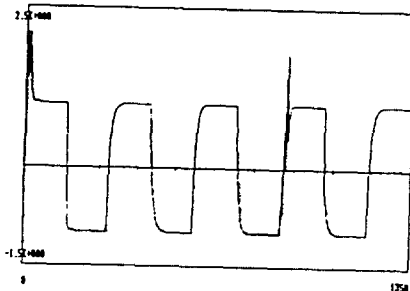


그림 5-b 실험 II의 제어 입력

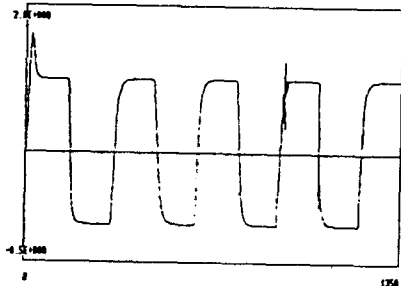


그림 5-c 실험 II의 출력

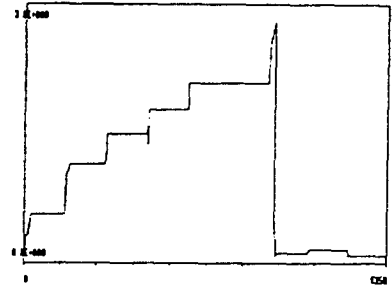


그림 6-a 실험 III의 설계 변수의 값

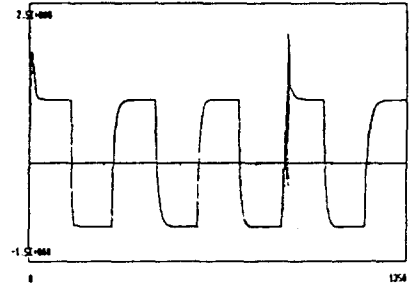


그림 6-b 실험 III의 제어 입력

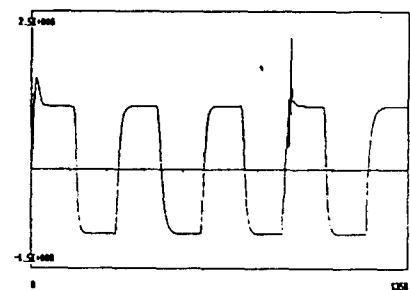


그림 6-c 실험 III의 출력

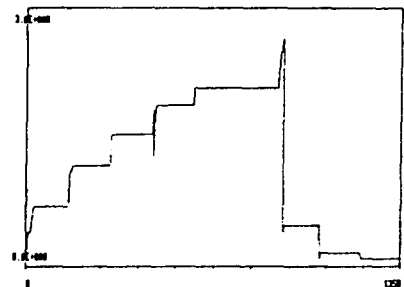


그림 7-a 실험 IV의 설계 변수의 값

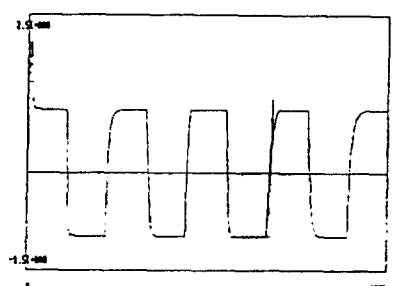


그림 7-b 실험 IV의 제어 입력

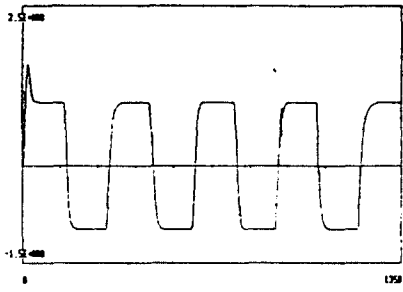


그림 7 c 실험 IV의 출력