

감독기능을 갖는 적응제어기 구성에 관한 연구

A Study on the Design of Adaptive Controller with Supervision Function

李 昌 求* · 權 五 炯* · 黃 炯 秀** · 金 聖 中[§]

(Chang-Goo Lee · O-Hyung Kwon · Hyoung-Soo Hwang · Sung-Joong Kim)

요 약

본 논문에서는 현장 엔지니어의 경험지식을 이용하여 건설한 적응제어기를 구성하는 기법이 제시되었다. 이 기법은 경험지식 규칙에 의하여 동작되며, SUPERVISOR, 시스템인식, DETUNER로 구성되었다. SUPERVISOR는 추종오차 신호의 동향과 크기를 분석하여 갑작스런 불안정성을 감지하고, 수행되어야 할 제어기를 선정한다. 불안정성이 감지되면, 제어기는 PID 알고리즘으로 전환되고 안정될 때까지 계속 동작한다. 동시에 새로운 입출력 데이터가 모아지고, 시스템인식이 작동되어 임계이득(kc)과 임계주기(tc)를 구한다. 새로운 값 kc, tc에 기초하여 GPC가 재 설계되고, 최종적으로 설계된 GPC 제어기로 복원된다. 제시된 기법은 전문가 규칙을 제한적으로 사용한 감독적응제어 유형에 속하며, 시뮬레이션에 의하여 본 기법의 건설성을 보였다.

Abstract - In this paper, a method for the design of robust adaptive controller using the heuristic rules of industrial engineers is presented. This scheme works on the basis of heuristic rules and includes a supervisor, a system identifier and a detuner. The supervisor detects onsetting instability based on the analysis of the amplitude and the trend of error signal, also selects running controllers. Upon detecting instability, the controller is switched to a PID algorithm and run recursively until stability is restored. Simultaneously, new input / output data is gathered and the system identifier runs to get critical sensitivity (kc) and critical period(tc). Based on the new values(kc, tc), a GPC controller is redesigned and normal GPC is finally run. The algorithm described in this paper belongs to the supervised adaptive control category with a limited use of heuristic rules. Finally, we show the robust of this scheme by simulated example.

1. 서 론

적응제어기는 지난 10여년동안 제어공학을 연구하는 사람들의 주된 관심분야 중 하나였다. 대부분

산업공정의 동특성이 완벽하게 알려지지않고, 시간에 따라 변화하기 때문에 적응제어기에 대한 관심이 증대되어 왔으며 매우 다양한 기법들이 제시되었다.¹⁾ 그러나, 제시된 대부분의 기법들은 시스템의 차수, 지연시간, 계수의 초기치 및 한계치등에 대한 임의의 가정에 기초한것이다.²⁾ 실제 경험과 컴퓨터 시뮬레이션 결과 이러한 가정이 만족하지 않고, 만족하더라도 종종 불안정한 결과를 보인다. 또한, 이러한 기법들이 점근적으로 안정화 되더라도 간혹 Bursting 현상이 나타난다.³⁾

*正 會 員 : 韓國電子通信研究所 先任研究員

**正 會 員 : 圓光大 工大 電算學科 專任講師

§正 會 員 : 全北大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1988年 7月22日

1次修正 : 1988年 10月 8日

2次修正 : 1988年 11月 9日

이와 관련하여 건설한 적응제어기 개발에 대한 연구가 집중되었으며 초기 결과들이 요약되어 발표되었다.⁴ 건설한 적응제어기에 대한 또다른 접근법이 최근에 여러 사람들에 의하여 발표되고 있는데, 수학적인 증명을 찾는 대신에 인공지능(Artificial Intelligence: AI)으로 해결하려는 연구가 진행되어 여러 전문가제어 기법들이 발표되었다. 그 내용을 유형별로 분류하면 Astrom & Arzen등에 의한 기법으로 PID 제어기의 수행에 Heuristic 논리를 도입하여 단일 케루프 시스템으로 전문가 시스템을 개발하였고, Sripada 등은 AI와 Fuzzy 논리를 결합한 기법을 제시하였다.^{5,6} 또한, Jiang, Lin과 Gertler 등은 제어 시스템을 Supervision, 성능 감지자, 기본 제어기의 계층 구조로 구성하여 모든 의사결정과 시스템 구성 및 Failure 탐지를 Supervision에서 수행하고, 전체 시스템의 데이터 획득 및 성능지수 감시등을 성능 감지자에서 수행하였으며 종래의 기본 제어기로는 기존 PID제어기나 적응제어기를 사용하도록 구성하는 전문가 제어기를 제안하여 실시간 시스템에 적용하였다.^{7,8}

본 논문에서는 Jiang, Lin과 Gertler등에 의하여 제시된 기법을 채택하였다. 기본 제어기로는 PID 제어기와 GPC(Generalized Predictive Control)로 구성하였고 성능 감지자로는 시스템인식과 Detuner로 나뉘어 각종 이론과 경험에 의한 규칙으로 구성되었다. Supervisor는 전반적인 제어 시스템의 안정도와 수행되어야 할 제어기를 선정한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 제시된 방법의 우수성을 보였으며, 산업공정에 범용으로 사용할 수 있으리라 사료된다.

2. 시스템구조

감독기능을 갖는 적응제어 시스템 구조는 J. Gertler에 의하여 제시된 그림 1과 같은 형태를 취한다.

그림 1에서 공정과 제어기는 기본 제어루프를 형성한다. 본 논문에서는 제어기로 PID와 GPC를 택하였다. TUNER와 PARAMETER ESTIMATOR는 일반 적응제어층으로, TUNER는 임계이득 및 임계주기를 이용한 PID 제어계수와 확정된 영역내에서 GPC 제어기 계수를 정한다. 또한, PARAMETER ESTIMATOR는 RLS(Recursive Least Square) 기법을 선정하였고, 확정된 모델의 계수를 추정한다. SUPERVISOR, 시스템인식, DETUNER

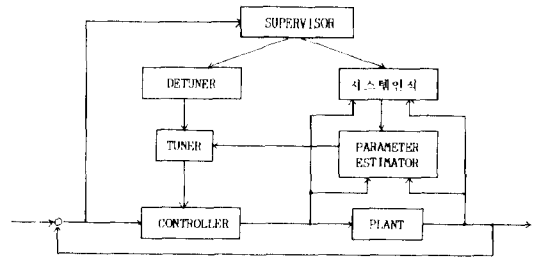


그림 1 감독기능을 갖는 적응제어기의 구성도
Fig. 1 Block diagram of adaptive controller with supervision function.

는 전문가층을 형성한다.

SUPERVISOR의 기능은 시스템이 불안정한가 또는 불안정 국면으로 진행중인가와 수행되어야 할 기능을 선정한다. 만약, 불안정한 상황이 감지되면 수행되어야 할 제어기로서 PID제어기로 전환하고 시스템인식을 구동하여 가장 안정한 제어계수로 동조한다. 시스템인식은 Astrom과 Hagglund에 의하여 제시된 릴레이제어에 의하여 자동으로 임계이득과 임계주기를 구한다.⁹. DETUNER는 시스템인식에서 얻어진 임계이득과 임계주기를 이용하여 지연시간, 최대 예측스텝(Np), 가중치(λ)를 구하고 이에 따른 GPC 제어기 설계가 일어나며 시스템은 정상상태로 돌아온다. 만약 새로운 제어기 설계가 불안하면 위 과정을 계속하여 반복한다.

3. GPC(Generalized Predictive Control)

1973년 경부터 시작된 자기동조 제어연구는 좀더 복잡한 제어기를 동조하고자 한 것이었다. 특히 지연시간이 큰 시스템의 최적제어가 목표였다. 그래서 Minimum Variance, Smith Predictor, Model following등의 이론이 병합되어 GMV(Generalized Minimum Variance) 이론이 Clarke와 Gawthrop(75, 79)에 의하여 제시되었고,¹⁰ Wellstead(79)에 의하여극 배치(pp) 기법이 발표되어 곧 산업계에 적용되었다.¹¹ 이들 알고리즘의 공통적인 요인은 다음과 같은 C-ARMA 모델에 있다.

$$A(q-1)y(t) = B(q-1)u(t-d) + C(q-1)\xi(t) \quad (1)$$

$$\text{단, } A(q-1) = 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_{n_A}q^{-n_A}$$

$$B(q-1) = b_1 + b_2q^{-1} + \dots + b_{n_B}q^{-n_B}$$

$$C(q-1) = 1 + c_1q^{-1} + \dots + c_{n_C}q^{-n_C}$$

위 두 방법은 대체적으로 임의의 조건에서 잘 동작하였으나 극대치 방법은 모델의 차수에, GMV 방법은 미리 선정된 지연시간에 민감함을 보였다. 따라서, 이들 장단점을 보완한 GMV/PP 제어기 즉, GPC 제어가 출현하였다. GPC는 일반적인 플랜트에 범용으로 적용하고자 하였으며, 플랜트에 대한 사전지식이 없어도 만족스러운 결과를 얻을 수 있음을 보였다. 본 장에서는 Clarke, Mohtadi와 Tuff 등에 의하여 제시되었던 GPC 기법을 요약 서술하고자 한다.^{12),13)}

3.1 Model과 LRPC (Long-Range Predictive Control)

모델의 목적은 좋은 예측이 이루어지고, 현재와 미래의 제어 효과가 최적이 되도록 플랜트의 행위를 결정하는 것이다. 따라서 정확한 제어기의 구조를 얻기 위하여 외란에 대한 적절한 표현을 포함하여야 한다.

PID 제어가 범용성을 갖는 이유는 Deterministic 이나 Stochastic 한 플랜트에 대한 부하외란의 IM (Internal Model)이 바로 적분항이기 때문이다. 이러한 상황을 염두에 두고, GPC에 의하여 채택된 모델은 CARIMA (Controlled Auto Regressive and Integrated Moving Average) 형태 즉, 식(2)와 같다.

$$A(q-1)y(t) = B(q-1)u(t-d) + C(q-1)\xi(t)/\Delta \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{단, } A(q-1) &= 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{n_A} q^{-n_A} \\ B(q-1) &= b_1 + b_2 q^{-1} + \dots + b_{n_B} q^{-n_B} \\ C(q-1) &= 1 + c_1 q^{-1} + \dots + c_{n_C} q^{-n_C} \\ \Delta &= 1 - q^{-1} \end{aligned}$$

여기에서 논의의 간단히 하기 위하여 $C(q-1) = 1$ 로 선정하였으며, 지연시간 d 는 $B(q-1)$ 항에 포함되고, $(d-1)$ 선행요소가 0이 되도록 한다. 또한 지연시간이 변하는 시스템은 $B(q-1)$ 의 차수를 조정함으로써 다룰 수 있다. 식(2)에 기초하여 j 스텝 앞선 $\hat{y}(t+j)$ 를 유도하려면 다음과 같은 Diophantine 방정식을 해결하여야 한다.

$$E_j(q-1)A(q-1)\Delta + q^{-j}F_j(q-1) = 1 \quad (3)$$

각 스텝 j 에 대하여 식(3)을 풀다는 것은 계산량이 많을 뿐만 아니라 시간이 많이 소요됨으로 Clarke & Mohtadi에 의하여 $E_j(q-1)$ 와 $F_j(q-1)$ 를 순차

적으로 구하는 방법이 제시되었다. $G_j = E_j B$ 라 하면, 제시된 방법을 표 1과 같이 요약할 수 있다.

표 1 j스텝 앞선 예측자의 순차적인 해
Table 1 Recursive solution of a j step ahead predictor.

<p>1. 초기값($j=1$) $G_1 = B, F_1 = q(1 - \bar{A})$ 단, $\bar{A} = A\Delta$</p> <p>2. $j=1, \dots, N_p-1$까지 F_j은 $f_{i+1}^{(j)} = f_i^{(j)} - f_0^{(j)} \alpha_i, i \in [1, n_A]$ $f_{n_A+1}^{(j)} = -f_0^{(j)} \alpha_{n_A+1}$</p> <p>$G_j$은 $G_{i+1}^{(j)} = G_i^{(j)} b_{i-j}, i \in [0, j+n_A]$ 단, $b_{i-j} = 0, i < j$</p>

식(2)에 $E_j \Delta q$ 를 곱하고 식(3)을 대입하면 최적 예측자 $\hat{y}(t+j)$ 는 식(4)와 같이 표시된다.

$$\hat{y}(t+j) = G_j \Delta u(t+j-1) + F_j y(t) \quad (4)$$

GMV 자기동조 개발에 있어서는 지연시간이 d 값이라 추정되었을 때 단지 하나의 $\hat{y}(t+d)$ 만 예측하였으나 GPC에서는 j 의 최소값에서 최대값까지 예측하여 예측영역을 구성한다.

3.2 제어법칙

식(4)에서 G_j 가 다음식(5)과 같이 표현되므로

$$G_j = g_0^{(j)} + g_1^{(j)} q^{-1} + \dots + g_{N_p-1}^{(j)} q^{-(N_p-1)} \quad (5)$$

이를 식(4)에 대입하여 각각의 예측값 $\hat{y}(t+j)$ 을 풀어 나열하여 보르면, 예측값 $\hat{y}(t+j)$ 는 이미 알고 있는 제어신호와 예측되어야 할 미래 제어신호로 구성된다. 따라서 식(4)를 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\hat{y} = G\hat{u} + f \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{단, } \hat{y} &= [\hat{y}(t+1), \hat{y}(t+2), \dots, \hat{y}(t+N_p)] \\ \hat{u} &= [\Delta u(t), \Delta u(t+1), \dots, \Delta u(t+N_p-1)] \\ f &= [f(t+1), f(t+2), \dots, f(t+N_p)] \\ f(t+1) &= [G_1 - g_0^{(1)}] \Delta u(t) + F_1 y(t) \dots \end{aligned}$$

$$G = \begin{bmatrix} g_0^1 & 0 & \dots & 0 \\ g_1^1 & g_0^2 & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & g_0^{N_p-1} \\ g_{N_p-1}^1 & g_{N_p-2}^2 & \dots & g_0^{N_p} \end{bmatrix}$$

제어기를 구하기 위하여 비용함수를 다음과 같이 설정한다.

$$J(N_1, N_p, N_u, \lambda) = \sum_{N_1}^{N_p} (\hat{y} - w)^2 + \lambda \sum_1^{N_u} \hat{u}^2$$

- 단, N_1 : 최소예측기간
- N_p : 최대예측기간
- N_u : 제어 Horizon
- λ : 가중치
- w : 설정값

비용함수를 최소화하는 제어신호 \hat{u} 은 다음 식(7)과 같다.

$$\hat{u} = (G^T G + \lambda I)^{-1} G^T (w - f) \tag{7}$$

여기에서 제어신호 $u(t)$ 는 \hat{u} 의 첫번째 요소 $\Delta u(t)$ 만을 취하면 된다.

GPC기법의 시뮬레이션 결과 N_p, N_u, λ 에 따라 특성이 다르며 특히 λ 값 선정에 따라 특성이 크게 좌우된다.

4. 감독 기능

4.1 SUPERVISOR

시스템 감독자의 목적은 전체 시스템이 불안정한 상태로 가고 있는가를 감지하는 것이다. 이런 기능의 적절한 수행은 극한 입출력값이 실제적으로 발생하기 이전에 감지되어야 한다. 특히 어려운 점은 급격한 불안정 상태를 어떤 과도현상이나 노이즈 영향과 구분하는데 있다.

본 논문에서 사용되는 안정도 지시기(Stability Indicator)는 Gerder가 제시한 기법을 채택하여, 약간 변형하였다. 즉, 제어오차 $e(k)$ 를 샘플링 주기(T_s)동안 N 회 읽어들이어 N_1 개의 최대값과 최소값을 제거한 후 다음과 같은 Moving Average Filter를 구성한다.

$$\hat{e}(k) = 1/(N - N_1) \sum_{i=1}^{N - N_1} |e(k - i)| \tag{8}$$

이것은 Rectifier와 Low-pass 필터로 동작되고, 발진과 비발진 신호를 균일하게 다루며, 노이즈의 과

도 효과를 감소시킨다. 여기서 N_1 은 N 보다 작은 값으로 N 개 샘플값중 최대값과 최소값의 제거갯수를 나타낸다. 필터된 값 $\hat{e}(k)$ 는 두 Threshold 값(w_1, w_2)과 비교되어, 시스템이 안정, 불안정 국면인가를 판별하도록 한다. 즉, $\hat{e}(k) < w_1$ 이면 안정하고, $\hat{e}(k) > w_2$ 이면 불안정하다. 또한, $w_1 \leq \hat{e}(k) \leq w_2$ 이면 그림 2에서와 같이 여러동향 분석이 수행된다.

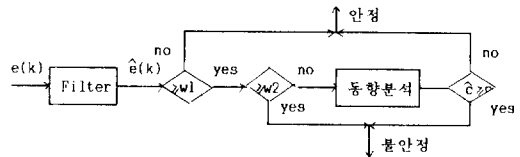


그림 2 시스템의 안정도 판별도

Fig. 2 Decision diagram of system stability.

Moving average기법의 이득은 주파수에 의존하며 어떤 주파수에서는 0이 된다. 또한, 필터된 출력에러 $\hat{e}(k)$ 는 발진을 갖을 수 있고, 동향 분석 중 불확실한 결정을 가져올 수 있으며, 이에 대한 연구는 더 요구된다.

동향분석은 필터된 출력에러 $\hat{e}(k+i)$ 의 임의의 구간에 대한 선형커브로 부터 구해진다.

$$\hat{e}(k+i) = \hat{e}i + f \tag{9}$$

단, $f = \hat{e}(k)$

만약, $\hat{e}i$ 가 0보다 크면 시스템은 불안정 국면으로 진행중이다. 본 논문에서 선정된 w_1 과 w_2 값은 $w_1 = 0.2 \times$ 설정값, $w_2 = 2 \times w_1$ 이다.

4.2 시스템인식

시스템구조, 지연시간, 임계이득, 임계주기를 결정하기 위하여 Astrom & Haggglund에 의하여 제시된 릴레이 제어기법을 채택하고자 한다. 이 기법의 기본개념은 고주파에서 적어도 π 의 위상지연을 갖는 시스템은 릴레이 제어하에서는 임계주기를 가지고 발진할 수 있는데 기초를 둔다. 임계이득과 주기를 결정하기 위하여 그림 3에서와 같이 플랜트는 릴레이를 갖는 제한루프에 연결되었다.

만약 릴레이 진폭이 p , 출력신호의 진폭이 a 라하면 임계이득과 주기는 다음과 같다.

$$\text{임계이득, } kc = 4p/a\pi$$

$$\text{임계주기, } tc = 2\pi/wc$$

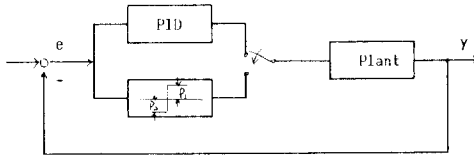


그림 3 릴레이 제어를 갖는 자기동조기
Fig. 3 Self-tuner with relay controller.

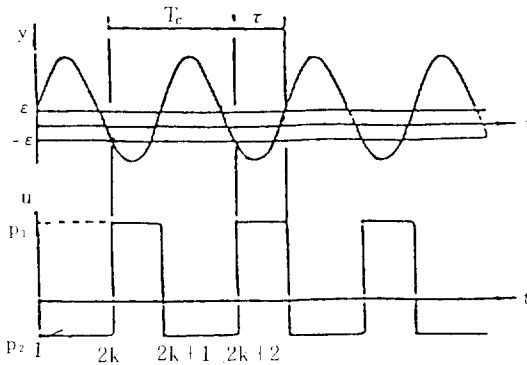


그림 4 Relay control의 입출력 신호
Fig. 4 Input/output signals of relay control.

잡음이 있는 공정에서는 히스테리시스를 갖는 릴레이 제어가 효과적이다. 임계이득과 주기를 결정 할 수 있는 자동적인 방법은 그림 4 에서와 같이 주기는 Zero-crossing 사이의 시간을 측정하고 진폭은 출력의 Peak to peak 값을 측정 함으로써 얻어진다.

즉, 추정기법은 영점교차수와 출력의 비교에 의하여 이루어지며 수백 바이트로 프로그램 된다. 여기에서 Know-How는 릴레이 입력신호의 진폭을 자동으로 결정하는 일이다.

—평형점(SS) 유지 및 진폭 결정

시스템인식은 3 단계로 나뉘어 수행되며, 1 단계에서는 임의의 평형값을 결정하고 출력이 평형점에 도달하도록 하는 기능을 수행한다. 평형점은 임의로 설정할 수 있지만 실제로 작동되는 설정값 근처에서 공정의 특성을 감지하고, 릴레이 진폭이 설정값을 넘지 않도록 정하는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 다음과 같이 정하였다.

$$SS = (k_1 \times SP + k_2 \times Y_0) / (k_1 + k_2) \quad (10)$$

SS : 평형값

k_1, k_2 : 상수 단, $0 < k_1 < 1, 0 < k_2 < 1, k_1 + k_2 = 1$

SP : 설정값

Y_0 : 현재의 프로세스 출력값

위에서 구해진 평형점에 도달하기 위해서 그림 5 에서와 같이 제어 입력을 절환한다. e^* 를 절환요조라 하면은 평형점이 현재의 프로세스 출력값보다 클 경우 다음 순서로 입력신호를 절환한다. 작은경우도 유사하다.

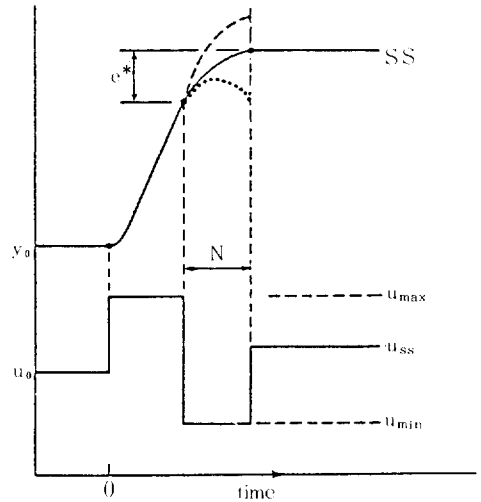


그림 5 출력이 한 평형점에 도달하기 위한 시간 최적 제어

Fig. 5 Time-optimal driving of the controlled variable $y(k)$ from one setpoint to another setpoint.

- (1) $e(k) < e^*$ 때까지는 $u(k) = 2/3 * U_{max}$ (최대 입력값)
- (2) N 샘플링 기간동안 $u(k) = U_{min}$ (최소 입력값)
- (3) 이후 새로운 안전상태값 $u(k) = U_{ss}$ ($U_{ss} = SS / kg, kg$: 프로세스 이득)

위 과정에서 절환요소값 e^* 는 평형값의 10%로 선정하였고, 이득 kg는 출력크기에 대한 입력크기 비로 정하였다.

제 2 단계에서는 평형점에 도달할 때 제어신호 U_{ss} 에 기초하여 릴레이 진폭을 조정한다. 먼저 진폭의 최대값 p_1 은 $U_{ss}/2$ 로, 최소값은 $U_{ss} - U_{ss}/2$ 로 선정한 후 플랜트에 인가하고 출력을 샘플한다. 만약 출력값이 설정값 SP보다 작으면 위 값에 의하여 임계값을 구하고, 설정값보다 크면 출력이 설정

값보다 적어질 때까지 p_1, p_2 를 10%씩 감하여 진폭으로 정한다. 제 3 단계에서는 앞서 언급한 릴레이 제어에 의하여 임계이득과 주기를 구한다.

4.3 TUNER

앞서 구한 임계이득과 주기값을 이용하여 다음표에 의하여 PID제어의 동조계수 K_p, T_i, T_d 를 구한다. 이 때 사용된 PID제어기 구조는 다음과 같다.

$$u[k] = u[k-1] + K_p \times (e[k] - e[k-1]) + T_s \times e[k-1] / T_i + T_d \times (e[k] - 2 \times e[k-1] + e[k-2]) / T_s \tag{11}$$

단, K_p : 비례상수, T_i : 적분상수, T_d : 미분상수, T_s : 샘플시간

표 2의 각각의 동조방법에 대한 특성 및 장단점은 논문(14)에 상세히 기술되었다.¹⁴

표 2 임계값(이득, 주기)과 동조계수의 관계식

Table 2 Relation equations of tuning parameters to critical values.

경험방법	K_p	T_i	T_d	비 고
Ziegler-Nichols	0.6 k_c	0.5 t_c	0.125 t_c	
Chien	0.45 k_c	0.6 t_c	0.1 t_c	
Astrom & Hagglund	$w_c T_d - 1 / (w_c T_i)$ = $\tan \phi_m$	αT_d	$\frac{\sqrt{\tan \phi_m} + 4/\alpha + \tan \phi_m}{2w_c}$	ϕ_m : 위상마진
	k_c / A_m	αt_c	$1 / (w_c T_i)$	A_m : 증폭마진

4.4 DETUNER

시스템의 불안정성은 플랜트의 구조적인 변화에 의하여 발생할 수 있다. 본 논문에서 접근법은 시스템 구조인식에서 임계이득과 주기가 구해지면 이를 이용하여 샘플링 주기와 GPC에 이용될 N_p, N_u, λ 를 결정한다. 샘플링 주기와 N_p, N_u 의 선정시 고려하여야 할 사항은 계산량과 안정도이다. GPC의 특성중 N_p 를 지연시간 d 보다도 충분히 크게 선정하면 성능은 어느정도 향상되나 계산량이 많아지고, 특히 가중치 값에 따라 그림 7에 보였듯이 성능이 좌우된다. 따라서, 시스템 동특성에 따라 N_p 와 가중치를 적절히 설정하는 것은 매우 중요하며 적절히 설정되었을 때 그림 8에서와 같이 매우 우수한 특성을 나타낸다. 또한 PID 제어기는 그 특성상 성능은 비록 GPC 제어기 보다 떨어지나 산업현장을 통한 적용과 시뮬레이션 결과 견실한 제어기라 할 수

있다.¹⁴

-샘플링 주기

지연시간 d 와 샘플링 주기 T_s 의 선정은 매우 중요하다. 이들 값들에 대한 한가지 방법이 앞서 제시된 임계주기 t_c 와 다음과 같은 실험적 관계가 있음이 Astrom과 Hagglund에 의하여 제시되었다.

$$T_s \cdot d = t_c / 2$$

초기 동작시에는 산업공정에 따라 통용되는 값 즉, 1963년 User Conference에 제시된 표 3에 의하여 T_s 를 선정하고 시스템인식을 구동한다.¹⁵ 지연시간은 샘플링 주기를 정한후 위 수식에 의하여 추정한다.

- N_p, N_u 의 선정

Default로 $N_p=5, N_u=1$ 로 선정한다. 단, N_p 는 항상 지연시간 d 보다 크도록 하고, N_p 가 5보다도 더 크면 샘플링 주기 T_s 를 증가하고 시스템인식을 다시 구동한다.

표 3 산업공정에 따른 샘플링 주기 선정

Table 3 Selection table of sampling time by the processes.

산업공정	샘플링주기
Flow Loop	1 sec
Level, Pressure Loop	5 sec
Temperature Loop	15~20sec

- λ 의 선정

많은 시뮬레이션 결과 GPC 제어기는 임계이득이 큰 경우에는 λ 값이 작아야, 작은 경우에는 λ 값이 큰 값이어야 성능이 우수함을 알 수 있었다. 일반적으로 다음과 같은 임계이득과 관계식으로 가중치를 선정할 때 모든 플랜트에 대하여 좋은 특성을 나타냈다.

$$\lambda = 50 / k_c^2$$

5. 알고리즘 구성과 시뮬레이션

전체 알고리즘의 구성은 그림 6 와 같다.

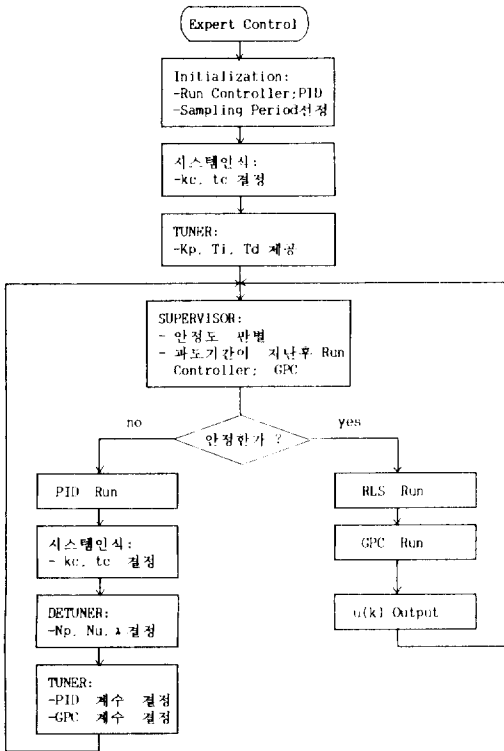


그림 6 전체 알고리즘의 흐름도.

Fig. 6 Flowchart of total control algorithm.

본문에서 제시된 기법을 다음과 같은 다양한 플랜트 모델에 대하여 시뮬레이션함으로써 비교 평가하고자 한다.

$$\text{모델 1 : } G_p(s) = \frac{10(s+3)e^{-ds}}{(5s+1)(9s+1)}$$

$$\text{모델 2 : } G_p(s) = \frac{e^{-ds}}{(5s+1)(3s+1)}$$

$$\text{모델 3 : } G_p(s) = \frac{(-s+1)e^{-ds}}{(5s+1)(3s+1)}$$

$$\text{모델 4 : } G_p(s) = \frac{100e^{-ds}}{10s+1}$$

모델 1, 4은 이득이 크고 임계이득이 작은 시스템으로서 임의의 특성을 가지고 있으며, 모델2, 3은 이득이 1이고 임계이득이 큰 시스템이다. 특히, 모델 3은 비 최소위상 시스템이다.

GPC 제어기의 일반적인 특성을 실험하기 위하여 먼저 위 모델에 대하여 샘플링 주기를 1sec로 선정하고, Variance가 설정값의 5%크기인 Zero Mean White Noise를 시스템에 인가한다. 설정값으로 구형파를 선정하였다. 그림 7은 각각의 모델에 대하여 $N_p=5, N_u=1, \lambda=30$ 으로 하고, 지연시간이 350스텝 순간에 1초에서 4초로 변할 경우의 응답으로서, 가중치(λ)만 적절히 선정되면은 좋은 응답을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림 8은 본 논문에서 제시한 경험지식 규칙에 의하여 가중치를 선정하여 설계된 제어기에 의한 응답으로서, 다른 각각의 모델에 대하여 시스템인식을 동작시켜 가중치를 구하고 이 값에 의하여 GPC를 설계하면 매우 좋은 특성을 나타냄을 보였다.

그림 9은 본 논문에서 구성한 전문가 적응제어기를 500스텝 순간에 지연시간이 N_p 보다 큰 8초로 변하여 불안정이 발생하는 모델 2에 적용한 출력으로 그림에서 보듯이 에러가 허용값을 초과하는 순간에 PID 제어기로 전환되고 시스템인식이 작동되어 새로운 GPC 제어기가 설계된 후 복구된다. 이 길과 불안정한 공정에서도 견실성을 보였다.

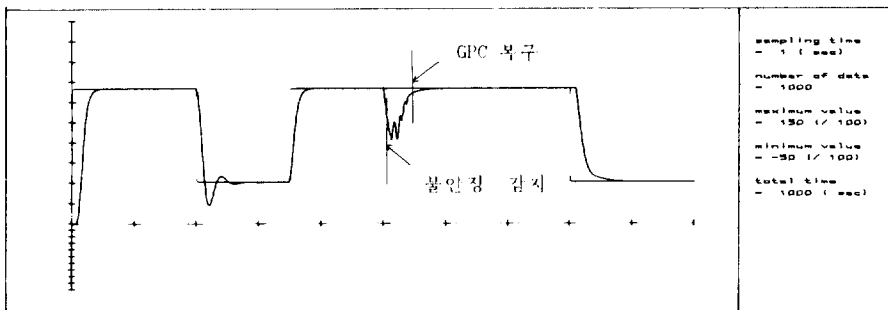


그림 9 감독기능을 갖는 적응제어에 의한 출력과형

Fig. 9 Output signal by adaptive control with supervision function.

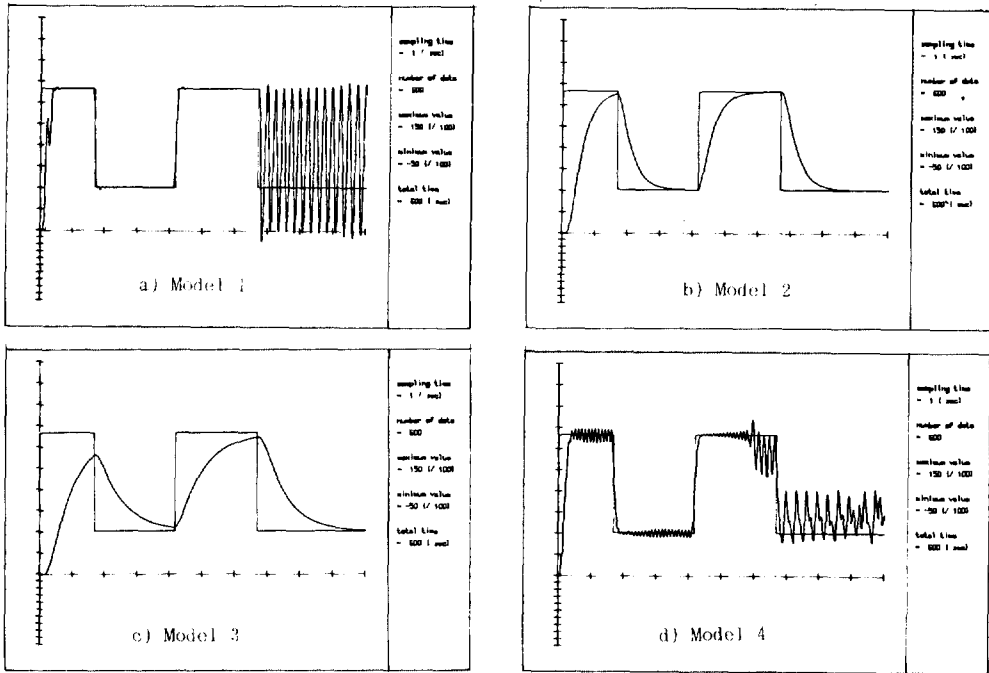


그림 7 $N_p=5$, $N_u=1$, $\lambda=30$ 으로 설계된 GPC 제어에 의한 출력파형
 Fig. 7 Output signal by GPC, (Designed by $N_p=5$, $N_u=1$, $\lambda=30$)

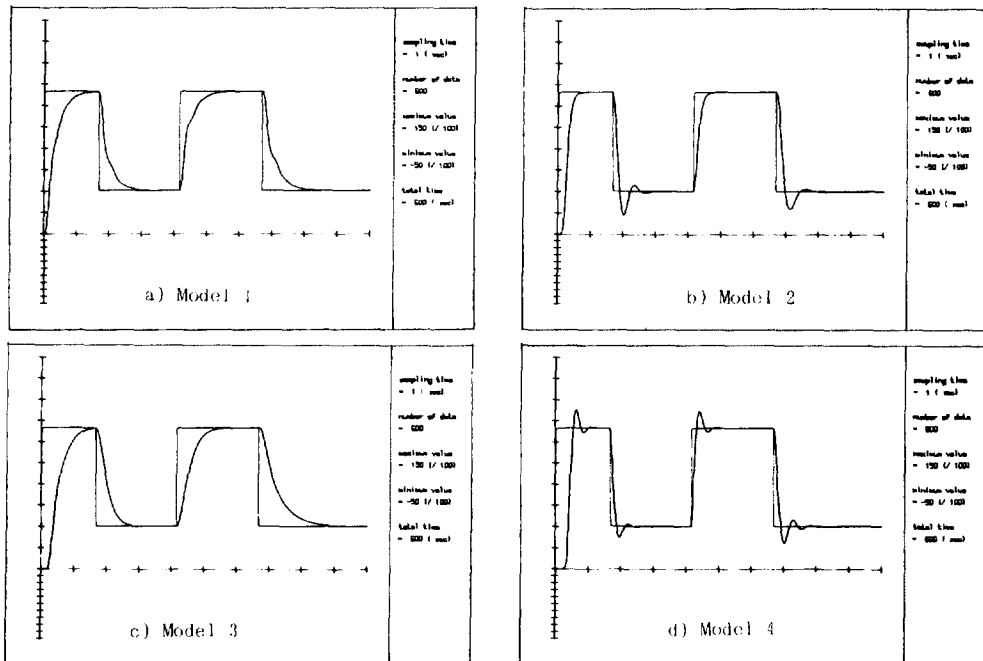


그림 8 $N_p=5$, $N_u=1$, $\lambda=50/kc^2$ 로 설계된 GPC 제어에 의한 출력파형
 Fig. 8 Output signal by GPC, (Designed by $N_p=5$, $N_u=1$, $\lambda=50/kc^2$)

6. 결 론

수학적 분석을 통한 이론적인 측면과 실제 응용에서 자동제어는 상당한 발전이 있었다. 그러나 현장 엔지니어가 수 많은 경험지식을 갖고 있음에도 불구하고 자동제어 시스템에는 미미한 영향을 미쳤다. 본 논문에서는 어떻게 이러한 경험지식이 제어 페루프의 일 부분으로 대처할 수 있는가를 보이고자 하였다. 여러 기법 중 기존 적응제어기의 건설성을 개선하기 위하여 전문가 개념을 도입한 방법으로 Gertler, Tuff 등에 의하여 제시된 감독자층을 Heuristic Rule 의하여 구현하였다. 감독자층은 Supervisor, 시스템인식, Detuner 등으로 구성되고 규칙들이 현장 엔지니어의 경험지식에 기초하여 정의되었다. 이런 시도에 의하여 제어시스템이 새로운 능력을 보유하도록 하였고, 건설성이 개선됨을 컴퓨터 시뮬레이션에 의하여 보였다.

참 고 문 헌

- 1) Astrom, K.J., "Theory and Applications of Adaptive control-a Survey", *Automatica*, vol. 19, no. 5, pp. 471-487, September, 1983.
- 2) Wittenmark, B. & Astrom, K.J., "Practical Issues in the Implementation of Self-Tuning control", *Automatica*, vol. 20, no. 5, pp. 595-605, 1984.
- 3) Isermann, R. & Lachmann, K.H., "Parameter-Adaptive Control with Configuration Aids and Supervision Function", *Automatica*, vol. 21, pp. 625-638, 1985.
- 4) Kokotovic, P.V. & al., "On a Stability Criterion for Continuous Slow Adaptation", *System and Control Letters*, vol. 6, pp. 7-14, 1985.
- 5) Astrom, K.J., Anton, J.J. & Arzen, K.E., "Expert Control", *Automatica*, vol. 22, no. 3, pp. 277-286, 1986.
- 6) Sripada, N.R., Fisher, D.G. & Morris, A.J., "AI Applications for Process Regulation and Servo Control", *IEEE. proc.*, vol. 134, July 1987.
- 7) Jiang, J. & Dorasiswmi, r., "Performance Monitoring in Expert Control Systems", *IFAC 10th. world cong. on Automatic Control*, 1987.
- 8) Lin, K. & Gertler, J., "An Intelligent Adaptive Scheme for Biomedical control", *proc. IEEE. Int. Sys. on Intelligent Control*, pp. 375-385, 1987.
- 9) Astrom, K.J. & T. Hagglund, "Automatic Tuning of Simple Regulators with Specifications on Phase and Amplitude Margins", *Automatica*, vol. 20, pp. 645-651, 1984.
- 10) Clarke, D.W. & Gawthrop, P. J., "Self-Tuning Control", *Proc. IEE*, vol. 126, pp. 633-640, 1979.
- 11) Wellstead, P. E. & Sanoff, S. P., "Extended Self-Tuning Algorithm", *Int. J. Control*, vol. 34, pp. 433-455, 1981.
- 12) Clarke, D. W., Mohtadi, C. & Tuffs, P. S., "Generalized Predictive Control-part 1. The Basic Algorithms", *Automatica*, vol. 23, no. 2, pp. 137-148, 1987.
- 13) Clarke, D. W., "Application of Generalized Predictive Control to Industrial Processes", *IEEE Control Syst. Magazine*, pp. 49-55, April, 1988.
- 14) 이창구의 2인, "PID 제어기의 동조방법에 관한 연구", *과기처 '87특정연구 결과 논문집*, pp.235-238, 1988.
- 15) Gardenhire, L. W., "Selecting Sample Rates", *ISA Journal*, April 1964.