

# 過小制動 工程制御시스템의 識別에 대한 研究

徐 丙 高\*

## A Study on the Identification of Underdamped Process Control System

Suh, Byung Suhl

### ABSTRACT

A new analytic method for the identification of process control systems is presented. A second and a third order transfer function are considered as the estimated model functions.

For the second order transfer function, the new method is compared with the existing ones, simulation results show that the new method is superior to the existing ones.

And also, In case of the third order transfer function which is difficult to analyze mathematically, system identification is tried.

### I. 서 론

공정 제어 (process control) 시스템 (system)의 식별 (identification)에 관한 많은 연구가 있었으나 이들 방법들은 정확성을 기할 수 있는 장점은 있다

할지라도 실제 산업 시스템 (industrial system)에 적용시 시간을 과다 소비해야 하는 단점이 있다.

이러한 단점을 개선하기 위하여 화학공정 (chemical process)분야에서는 비교적 간단한 방법을 제시한 많은 연구보고가 있었다. Ziegler-Nichols (1942)<sup>1)</sup>와 Miller(1967) 등은 추정모델 함수가 지연시간을 갖는 1차 전달함수인 시스템 식별방

법을 제시하였고, 2차 전달함수를 고려한 연구는 oldenbourg와 Satorius(1948)<sup>[2]</sup>, Smith(1959), Cox(1966), Meyer et. al.(1967)<sup>[3]</sup>, Sten(1970)<sup>[6]</sup>, Sundaresan et. al(1978)<sup>[4]</sup> 등에 의해 이루어져 왔다. 그러나 이들은 굴곡점(inflexion point)의 위치를 선정하는데 있어 정확성을 기하기가 힘들고, 도표를 작성하는데 번거로운 문제점들을 지닌다. 근래에 Yuwana와 Seborg(1982)<sup>[5]</sup> 그리고 Suh(1984)<sup>[6]</sup>와 Suh(1986)<sup>[7]</sup>의 제어기 동조(controller tuning)에 대한 연구에서 이러한 문제점들을 해결하는데 도움을 줄 수 있는 해석적인 방법들이 있었다. 본 논문에서는 공정 반응곡선이 과소제동(underdamped)되는 경우만을 고려하여, Yuwana와 Seborg(1982)<sup>[5]</sup> 그리고 Suh(1984)<sup>[6]</sup>가 사용한 방법을 적용함으로써 2차 전달함수인 시스템의 식별을 시도하였고, 해석적 분석이 난해한 3차 전달함수인 경우에는 Suh(1986)<sup>[7]</sup>가 최근에 제시한 방법을 적용하여 시스템을 식별하였다.

## II. 본 론

서론에서 언급되었던 Suh(1984)<sup>[6]</sup>의 해석적(new analytic)방법을 사용하여, 추정모델(estimated model)의 변수값들을 결정하기 위한 관계식 유도과정을 추정모델이 2차와 3차 전달함수인 경우로 나누어서 설명하고자 한다.

### 1. 추정모델이 2차 전달함수인 경우의 관계식 유도.

고려된 개루우프(open loop)시스템 모델은 다음과 같다.



Fig. 1 Black diagram of a simple open loop control systems

그림1에서 공정 전달함수(process transfer function)  $G_p(S)$ 의 계수들을 모르는 2차함수라고 하면 아래 식(1)과 같이 놓을 수 있다.

$$G_p(S) = \frac{K_m \cdot e^{-dm s}}{1/\omega_n^2 \cdot S^2 + 2\zeta/\omega_n \cdot S + 1} \dots\dots\dots (1)$$

$K_m$ : 안정상태이득,  $dm$ : 지연시간,  $\omega_n$ : 고유진동수,  $\zeta$ : 감쇠율

그림1에서 제어기 전달함수  $G_c(S) = K_c$ 라 하면, 개루우프 전달함수는 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{C(S)}{R(S)} = \frac{A K_p \cdot e^{-dm s}}{1/\omega_n^2 \cdot S^2 + 2\zeta/\omega_n \cdot S + 1} \dots\dots\dots (2)$$

여기서  $A$ 는 계단함수의 크기를 나타내며,  $K_p = K_c K_m$ 는 안정상태에서의 개루우프 이득을 의미한다.

시스템에 계단입력(step input)의 변화를 가해 얻어지는 응답곡선의 과소제동(underdamped)된 형태는 대략 다음과 같다.

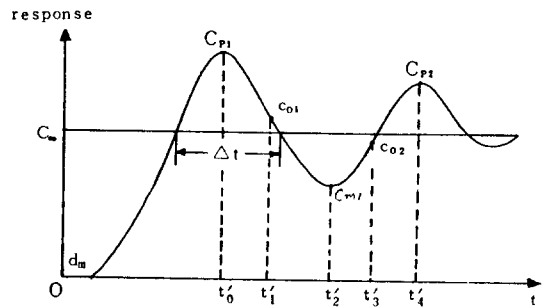


Fig. 2 Underdamped response curve of process to a step input change

그림2의 응답 곡선(response curve)으로부터 얻어지는 실험 데이터(data)들을 사용하여 2차 추정모델의 변수들인  $K_p$ ,  $d_m$ ,  $\zeta$ ,  $\omega_n$ 들의 값을 결정할 수 있다.

식(2)에서 감쇠율(damping coefficient)  $\zeta$ 가  $0 < \zeta < 1$ 이고 입력 신호  $R(S)$ 가 크기  $A$ 인 계단함수(step function)일때 식(2)를 라플라스(Laplace)역변환하여, 시간에 대한 순시응답(transient response)을 구하면 다음과 같다.

$$C(t') = A \cdot K_p \cdot [1 + C_1 \cdot e^{-\zeta \cdot \omega_n \cdot t'} \sin(C_2 t' - \phi)] \dots\dots\dots (3)$$

여기서  $t' = t - dm$

$$C_1 = \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$

$$C_2 = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{-\zeta}$$

응답의 임계점들(critical points)이 일어나는 시간  $t'_m$  을 결정하기 위해서 식 (3)을 시간  $t$ 에 대해서 미분하고 이를 0으로 놓으면 다음과 같은 식이 얻어진다.

$$A \cdot K_p \cdot C_1 \cdot e^{-\zeta \cdot \omega_n \cdot t} \cdot C_2 \cdot \cos(C_2 t' - \phi)$$

$$= A \cdot K_p \cdot C_1 \cdot e^{-\zeta \cdot \omega_n \cdot t} \cdot \zeta \cdot \omega_n \cdot \sin(C_2 t' - \phi)$$

..... (4)

식 (4)를 정리하면 응답의 임계점들에서의 시간  $t'_m$  은 아래의 식으로 표현된다.

$$t'_m = \frac{\tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta} + \frac{1}{2} m\pi + \phi}{\omega_n \cdot \sqrt{1-\zeta^2}} \quad \text{..... (5)}$$

(m=0, 2, 4, ... (짝수경우))

그림2에서  $t'_0$ ,  $t'_2$ ,  $t'_4$ 들은 식 (5)에 의해서 다음과 같이 결정된다.

$$t'_0 = \frac{\tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta} + \phi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} \quad \text{..... (6)}$$

$$t'_2 = t'_0 + \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} \quad \text{..... (7)}$$

$$t'_4 = t'_0 + \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} \quad \text{..... (8)}$$

그림2의 응답곡선에서 최소대정점비 (minimum to peak ratio)를  $\sigma_p$ 라 하면  $\sigma_p$ 는 다음의 식으로 표현된다.

$$\sigma_p = \frac{C_\infty - C_{m1}}{C_{p1} - C_\infty} \quad \text{..... (9)}$$

식 (9)에서  $C_\infty$ 는 식 (3)으로부터  $A \cdot K_p$ 가 되며,  $C_{p1}$ 과  $C_{m1}$  값들은 식 (3)에 식 (6)과 식 (7)을 각각 대입하여 구할 수 있다. 이 값들을 식 (9)에 대입하면  $\sigma_p$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_p = \frac{A \cdot K_p - [A \cdot K_p \{1 + C_1 \cdot e^{-\zeta \cdot \omega_n \cdot t'_2} \sin(C_2 t'_2 - \phi)\}]}{A \cdot K_p \cdot [1 + C_1 \cdot e^{-\zeta \cdot \omega_n \cdot t'_0} \sin(C_2 t'_0 - \phi)] - A K_p}$$

..... (10)

식 (10)을 정리하면  $\sigma_p$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\sigma_p = e^{-\pi \cdot \zeta / \sqrt{1-\zeta^2}} \quad \text{..... (11)}$$

감쇠비 (decay ratio)  $\sigma_r$ 는  $\sigma_p$ 를 구하는 방법과 유사한 방법으로 구할 수 있다.

$$\sigma_r = \frac{C_{p2} - C_\infty}{C_{p1} - C_\infty} = e^{-2\pi \zeta / \sqrt{1-\zeta^2}} \quad \text{..... (12)}$$

식 (9), 식 (11), 식 (12)를 각각 감쇠율  $\zeta$ 에 대해서 정리하면 2에 상응하는  $\zeta_p$ 와  $\zeta_r$  그리고  $\zeta$ 는 테이타를 포함하는 다음의 관계식으로 표현된다.

$$\zeta_p = \frac{-1_n \left( \frac{C_\infty - C_{m1}}{C_{p1} - C_\infty} \right)}{[\pi^2 + \{1_n \left( \frac{C_\infty - C_{m1}}{C_{p1} - C_\infty} \right)\}^2]^{1/2}} \quad \text{..... (13)}$$

$$\zeta_r = \frac{-1_n \left( \frac{C_{p2} - C_\infty}{C_{p1} - C_\infty} \right)}{[4\pi^2 + \{1_n \left( \frac{C_{p2} - C_\infty}{C_{p1} - C_\infty} \right)\}^2]^{1/2}} \quad \text{..... (14)}$$

$$\zeta = \frac{\zeta_p + \zeta_r}{2} \quad \text{..... (15)}$$

그림2의 응답곡선에 나타난 반주기 (half period)  $\Delta t$ 는 다음의 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta t = t'_2 - t'_0 = \pi / \omega_n \cdot \sqrt{1-\zeta^2} \quad \text{..... (16)}$$

안정상태이득  $K_p$ 는  $C_\infty = A \cdot K_p$ 에 의해 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$K_p = \frac{C_\infty}{A} \dots\dots\dots (17)$$

지연시간  $dm$ 은 식(1)의  $e^{-dm s}$ 항이 응답지연을 의미하므로 응답곡선으로부터 직접 구할 수 있으며, 안정상태값  $C_\infty$ 는 응답곡선에서 나타나기를 기다릴 필요없이 응답의 데이터로부터 추정하기 위해서 식(9), 식(11), 식(12)로부터  $\zeta$ 를 소거하여 정리하면 추정값  $C_\infty$ 는 다음의 식으로 표현된다.

$$C_\infty = \frac{C_{p1} \cdot C_{p2} - C_{m1}^2}{C_{p1} + C_{p2} - 2C_{m1}} \dots\dots\dots (18)$$

지금까지는 추정모델이 2차 전달함수인 경우의 모델 변수값들을 결정하기 위한 관계식 유도 과정에 대해서 설명하였다.

2. 추정모델이 3차 전달함수인 경우의 관계식 유도.

고려한 개루우프 시스템 모델은 그림1과 같다. 그림1에서 공정 3차 추정모델 함수는 아래의 식으로 표현된다.

$$G_p(S) = \frac{K_p \cdot e^{-dm s}}{(T_s + 1)(1/\omega_n^2 \cdot S^2 + 2\zeta/\omega_n \cdot S + 1)} \quad (19)$$

여기서  $K_p$ : 안정상태이득,  $dm$ : 지연시간,  $\omega_n$ : 고유진동수,  $\zeta$ : 감쇠율,  $T$ : 시간상수이다. 2차의 경우와 마찬가지로 개루우프 전달함수는 아래의 식(20)가 된다.

$$\frac{C(S)}{R(S)} = \frac{K_p \cdot e^{-dm s}}{(TS + 1)(1/\omega_n^2 \cdot S^2 + 2\zeta/\omega_n \cdot S + 1)} \quad (20)$$

역시 2차의 경우와 똑같이 고려된 그림2의 과소계동(underdamped)된 형태의 응답곡선으로부터 얻어지는 실험 데이터들을 사용하여 3차 추정모델 합

수의 변수들인  $K_p$ ,  $\omega_n$ ,  $\zeta$ ,  $dm$ ,  $T$ 들의 값을 구할 수 있다. 입력신호  $R(s)$ 가 크기  $A$ 인 계단함수(step function)일때 개루우프 전달함수인 식(20)를 라플라스(Laplace)역변환하여 시간에 대한 순시응답(transient response)을 구하면 다음과 같다.

$$C(t') = A \cdot K_p \cdot [1 - C_1 \cdot e^{-t'/T} + C_2 \cdot e^{-\zeta \cdot \omega_n \cdot t'} \cdot \sin(\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t' - \phi)] \quad \dots\dots\dots (21)$$

여기서  $t' = t - dm \quad \dots\dots\dots (22)$

$$C_1 = \frac{T^2 \cdot \omega_n^2}{1 - 2 \cdot T \cdot \zeta \cdot \omega_n + T^2 \cdot \omega_n^2} \quad \dots\dots\dots (23)$$

$$C_2 = \sqrt{\frac{1}{(1 - \zeta^2)(1 - 2T \cdot \zeta \cdot \omega_n + T^2 \omega_n^2)}} \quad (24)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\sqrt{1 - \zeta^2}}{\zeta} + \tan^{-1} \frac{T \cdot \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}}{1 - T \cdot \zeta \cdot \omega_n}$$

응답의 임계점들(critical points)이 일어나는 시간  $tm'$ 을 결정하기 위하여 식(21)을 시간  $t$ 에 대해서 미분하고 이를 0으로 놓으면 다음과 같은 식이 얻어진다.

$$e^{\zeta \cdot \omega_n \cdot t'} = \frac{C_2}{C_1} \cdot T \cdot \zeta \cdot \omega_n \cdot \sin(\omega_n \cdot \sqrt{1 - \zeta^2} t' - \phi) - \frac{C_2}{C_1} \cdot T \cdot \omega_n \cdot \sqrt{1 - \zeta^2} \cdot \cos(\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t' - \phi) \quad \dots\dots\dots (25)$$

식(25)을  $t$ 에 대한 식으로 표현하기 위해서는 근사계산을 해야하나 그것은 상당한 오차를 초래할 뿐만 아니라 급수전개시 1차항만 고려하여도 구하고자 하는  $\zeta$ 에 대한 식으로의 표현이 수학적으로 불가능하다. 고로 본 논문에서는 3차 전달함수일때의 제어 기기 동조에 관한 연구에서 Suh (1986)<sup>(10)</sup>가 사용했던 방법을 적용시켜 보았다. 그내용은 다음과 같다. 최대 오우버슈트(maximum overshoot)에서의 시간  $t_0$  값을 결정하기 위해서 응답곡선인 식(21)의 상측포락선(upper envelope)을 이용하였다. 3차 전달함수인 아래의 식(26)을 고려할 때 표준화(normalization)된 계단입력에 대한 출

력 응답곡선은 그림3의  $\zeta$  와 K 값의 변화에 따라 이루어지는 영역 A, B, C에 상응하여 그림4의 3종류 유형별 곡선 A, B, C가 얻어진다.

$$\frac{C(S)}{R(S)} = \frac{K}{(S+k)(S^2+2\zeta \cdot \omega_n S + \omega_n^2)} \dots\dots(26)$$

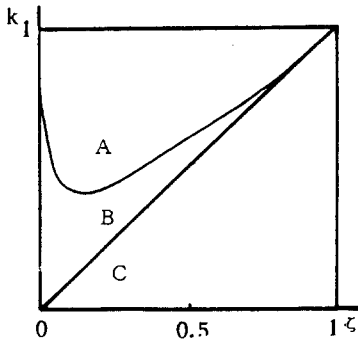


Fig. 3 Domain curve delimiting the curve types of response in the  $\zeta$ -k plane

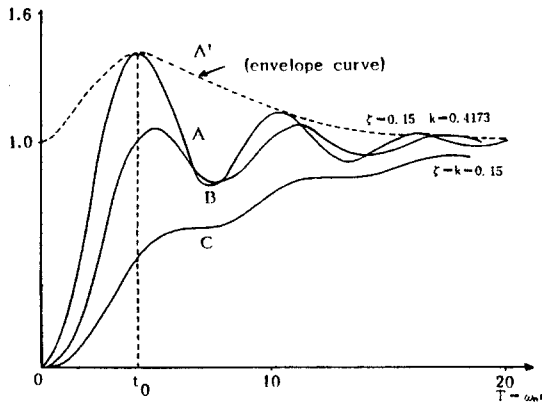


Fig. 4 The limiting case step response when  $\zeta = 0.15$

그림4에서 보는 바와 같이 A와 A'형 곡선만이 첫 번째 오우버슈트를 최대 (maximum overshoot)로 하고 있다. 그리고 A'형 곡선인 상측포락선 (upper envelope)은 A형 곡선의 최대 오우버슈트에서의 시간  $t_0$  점에서 최대값을 나타내고 있다. 즉 최대 오우버슈트일때의 시간과 상측포락선이 최대가 되는 시간과는 컴퓨터 시뮬레이션 결과상 동일하다.\*

\* 이론상으로는 동일하다는 것이 아직 입증되어 있지 않다.

이를 좀 더 구체적으로 설명하면 식 (26)로부터 입력이 크기가 1인 계단함수 (step function)일 경우, 즉  $1/S$ 일 경우 상측포락선 A'는 아래와 같이 구해진다.

$$f(t) = \frac{k/\omega_n \cdot e^{-\zeta \cdot \omega_n \cdot t}}{\sqrt{1-\zeta^2} \sqrt{(k/\omega_n)^2 - 2\zeta(k/\omega_n) + 1}} - \frac{e^{-kt}}{(k/\omega_n)^2 - 2\zeta(k/\omega_n) + 1} \dots\dots(27)$$

식 (27)인  $f(t)$ 를 미분하여 0으로 놓으면 상측포락선이 최대값에서의 시간 즉 최대 오우버슈트가 되는 시간  $t'_0$ 가 결정된다. 응답곡선인 식 (21)은 주기함수는 아니지만 응답의 극대, 극소는 주기적인 간격으로 발생하므로 시간  $t'_1, t'_2, t'_3, t'_4$  등은 쉽게 결정할 수 있다. 본 논문에서는 응답곡선이 과소제동 (underdamped)된 그림4의 A형인 경우만을 고려하고 위에서 언급한 방법을 사용하여 다음과 같이 관계식을 유도하였다. 시스템의 순시 응답곡선 (transient response curve)인 식 (21)으로부터 sin 항을 최대치 1로 놓으므로써 상측포락선은 다음과 같이 구해진다.

$$f(t) = k(1 - C_1 \cdot e^{-t/T} + C_2 \cdot e^{-\zeta \cdot \omega_n \cdot t'}) \dots\dots(28)$$

위 식 (28)을 미분하여 0으로 놓으면 최대 오우버슈트일때의 시간은 아래와 같이 구해진다.

$$t'_0 = \frac{1}{\zeta \cdot \omega_n - 1/T} \ln\left(\frac{\zeta \cdot \omega_n \cdot C_1 \cdot T}{C_1}\right)$$

위의  $t'_0$ 에 대한 식으로부터 응답의 임계점들에서의 시간  $t'_m$ 을 결정할 수 있다.

$$t'_m = \frac{1}{\zeta \cdot \omega_n - 1/T} \ln\left(\frac{\zeta \cdot \omega_n \cdot C_2 \cdot T}{C_1}\right) + \left(\frac{1}{2} m\pi\right) / \omega_n \sqrt{1-\zeta^2} \quad (m=0, 1, 2, 3, 4, \dots\dots) \dots\dots(29)$$

그림2의 출력 응답곡선에 나타난 바와 같이 응답의 첫번째 정점 (peak point)과 첫번째 최소점

(minimum point)은 시간  $t_0'$ 와  $t_2'$ 일때이고 그 가운데 점은 시간  $t_1'$  일때이다. 두번째 정점은 시간  $t_4'$ 일때이고 첫번째 최소점과 두번째 정점의 가운데 점은 시간  $t_3'$  일때이다. 이러한  $t_0'$ ,  $t_1'$ ,  $t_2'$ ,  $t_3'$ ,  $t_4'$ 들은 식 (29)에 의해서 다음과 같이 결정된다.

$$t_0' = \frac{1}{\zeta \cdot \omega_n - 1/T} \ln \frac{\zeta \cdot \omega_n \cdot C_2 \cdot T}{C_1} \dots\dots\dots (30)$$

$$t_1' = t_0' + \frac{1/2 \cdot \pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} \dots\dots\dots (31)$$

$$t_2' = t_0' + \frac{\pi}{\omega_n \cdot \sqrt{1-\zeta^2}} \dots\dots\dots (32)$$

$$t_3' = t_0' + \frac{3/2 \cdot \pi}{\omega_n \cdot \sqrt{1-\zeta^2}} \dots\dots\dots (33)$$

$$t_4' = t_0' + \frac{2 \cdot \pi}{\omega_n \cdot \sqrt{1-\zeta^2}} \dots\dots\dots (34)$$

최소대정점비 (minimum to peak ratio)  $\sigma_p$ 는 2차의 경우와 똑같은 과정에 의해서 다음과 같은 근사식으로 표현할 수 있다.

$$\sigma_p = \frac{C_\infty - C_{m1}}{C_{p1} - C_\infty} = e^{-\zeta \cdot \pi / \sqrt{1-\zeta^2}} \dots\dots\dots (35)$$

감쇠비 (decay ratio)역시 유사한 방법으로 결정된다.

$$\sigma_r = \frac{C_{p2} - C_\infty}{C_{p1} - C_\infty} = e^{-2\zeta \cdot \pi / \sqrt{1-\zeta^2}} \dots\dots\dots (36)$$

식 (9), 식 (35), 식 (36)로부터 감쇠율  $\zeta$ 에 대해서 정리하면 감쇠율  $\zeta_p$ 와  $\zeta_r$  그리고  $\zeta$ 는 다음의 관계식으로 표현된다.

$$\zeta_p = \frac{-\ln\left(\frac{C_\infty - C_{m1}}{C_{p1} - C_\infty}\right)}{[\pi^2 + \{\ln\left(\frac{C_\infty - C_{m1}}{C_{p1} - C_\infty}\right)\}^2]^{1/2}} \dots\dots\dots (37)$$

출력 응답곡선인 그림 2에서 응답의 반주기  $\Delta t$ , 지

연시간  $dm$ , 안정상태이득  $k_p$ , 안정상태값  $C_\infty$ 는 2차와 똑같은 방법으로 구할 수 있다.

$$\zeta_r = \frac{-\ln\left(\frac{C_{p2} - C_\infty}{C_{p1} - C_\infty}\right)}{[4\pi^2 + \{\ln\left(\frac{C_{p2} - C_\infty}{C_{p1} - C_\infty}\right)\}^2]^{1/2}} \dots\dots\dots (38)$$

$$\zeta = \frac{\zeta_p + \zeta_r}{2} \dots\dots\dots (39)$$

$$\Delta t = t_2' - t_0' = \pi / \omega_n \cdot \sqrt{1-\zeta^2} \dots\dots\dots (40)$$

$$K_p = \frac{C_\infty}{A \cdot K_c} \dots\dots\dots (41)$$

$$C_\infty = \frac{C_{p1} + C_{p2} - C_{m1}^2}{C_{p1} + C_{p2} - 2C_{m1}} \dots\dots\dots (42)$$

여기서 추정모델 변수 T는 응답데이터로부터 직접 결정되지 않으므로 응답데이터로부터 T의 값을 결정할 수 있는 관계식의 유도가 필요하다. 응답함수식 (21)은 식 (31), 식 (33)인 시간  $t_1'$ ,  $t_3'$ 에서 함수의 값을  $C(t_1') = C_{01}$ ,  $C(t_3') = C_{02}$ 라고 놓으면 그 시간인  $t_1'$ 와  $t_3'$ 에서  $\sin(W_n \cdot \sqrt{1-\zeta^2} t' - \phi)$ 항이 0의 값을 갖으므로 다음과 같은 T에 대한 관계식이 유도된다.

$$T = (t_3' - t_1') \left[ \ln\left(\frac{C_{01} - C_\infty}{C_{02} - C_\infty}\right) \right]^{-1} \dots\dots\dots (43)$$

### 3. 시뮬레이션

본 논문에서 사용된 방법들의 유용성을 입증하기 위하여 다음과 같은 예제들이 고려되었다. 추정모델이 2차 전달함수인 경우는 지연시간의 크기에 따라 예제 1, 2, 3을 고려하였고, 3차 전달함수인 경우에는 예제 4를 고려하였다.

<예제 1>

시뮬레이션 모델로서 고려한 시스템의 응답함수는 아래와 같다.

$$C(S) = \frac{6 \cdot e^{-0.25S}}{(2.5S+1)(S^2+S+4)}$$

그림5에는 이 시스템에 대한 응답곡선을 나타냈으며 이로부터 얻어지는 데이터들을 이용하여 본론의 식 (13)~(17)까지의 식들로부터 추정모델 변수값들을 구하였다. 새로이 제시된 방법에 의해 계산된 변수값들을 기존의 방법들인 Sundaesan과 Meyer의 방법에 의해 계산된 변수값들과 함께 표1에 실었고, 각 방법에 의해 결정된 변수값들을 사용하여 시뮬레이션한 결과들을 그림5에 나타내었다. 본 논문에서 사용된 새로운 방법은 Meyer의 방법에 의한 효과와는 비슷하나, Sundaesan의 방법보다는 우수한 효과를 보여준다.

여기서  $K_p$ : 안정상태이득,  $d_m$ : 지연시간,  $\omega_n$ : 고유진동수,  $\zeta$ : 감쇠율이다.

Table 1. Estimated model parameters for example 1

	R	$K_c$	$K_p$	K	$\zeta$	$\omega_n$	$d_m$
NEW	1	0.5	1.5	0.75	0.2312	2.0172	0.2
MEY	1	0.5	1.5	0.75	0.282	2.1905	0.2
SUN	1	0.5	1.5	0.75	0.604	4.302	0.417

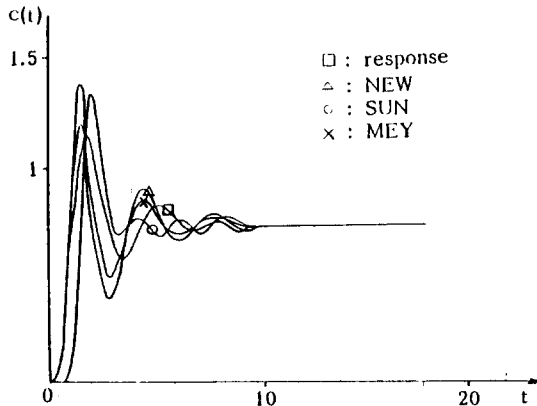


Fig. 5 Comparison of identification effects for example 1

<예제2>

좀 더 큰 지연시간을 갖는 시스템으로 고려된 응답함수는 다음과 같다.

$$C(S) = \frac{2 \cdot e^{-S}}{(3S+1)(2S^2+S+3)}$$

그림6에 있는 응답곡선의 데이터들로부터 얻어진 모델 변수값들을 표2에 나타내었으며, 시뮬레이션한 결과를 그림6에 나타내었다. 이 결과에서도 새로운 방법은 Meyer나 Sundaesan의 방법보다 더 훌륭한 식별효과를 보여준다.

Table 2. Estimated model parameters for example 2

	R	$K_c$	$K_p$	K	$\zeta$	$\omega_n$	$d_m$
NEW	1	1	1	1	0.1925	1.2307	1
MEY	1	1	1	1	0.4329	1.4389	1
SUN	1	1	1	1	0.167	1.706	1.27

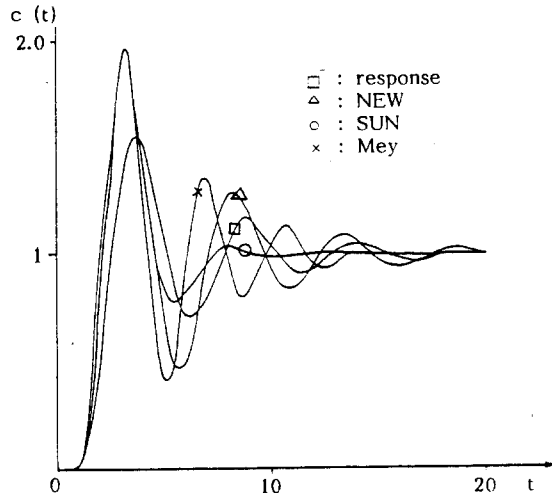


Fig. 6 Comparison of identification effects for example 2

<예제3>

큰 지연시간을 갖는 시스템으로 고려된 응답함수는 다음과 같다.

$$C(S) = \frac{e^{-3S}}{(2S+1)(2S^2+S+2)}$$

그림7에 있는 응답곡선의 데이터들로부터 얻어진 모델 변수값들을 표3에 나타내었으며 시뮬레이션한 결과를 그림7에 나타내었다. 이 결과 역시 새로운 방법이 다른 두가지 방법보다 더 우수한 식별효과를

보여준다.

Table 3. Estimated model parameters for example 3

	R	K <sub>c</sub>	K <sub>p</sub>	K	ζ	W <sub>n</sub>	d <sub>m</sub>
NEW	1	1.3	0.5	0.65	0.2412	1.0111	3
MEY	1	1.3	0.5	0.65	0.2188	1.0219	3
SUN	1	1.3	0.5	0.65	0.125	0.621	1.951

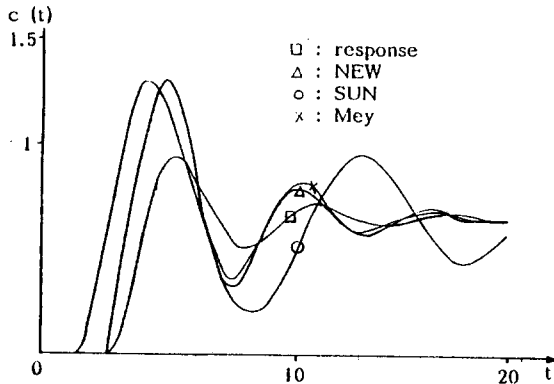


Fig. 7 Comparison of identification effects for example 3

<예제 4>

이 예제는 추정모델이 3차 전달함수인 경우이다. 고려한 시스템의 응답함수는 아래와 같다.

$$C(S) = \frac{3 \cdot e^{-s}}{(2S^2 + S + 2)(2S^2 + S + 3)}$$

그림 8에 있는 응답곡선의 데이터들을 사용하여 본론의 식 (37)부터 (43)까지의 식들로부터 얻어진 3차 전달함수 모델 변수값들을 사용하여 시뮬레이션한 결과를 그림 8에 나타내었다. 이 결과에서는 2차의 경우보다는 못하다.

여기서 K<sub>p</sub>: 안정상태이득, d<sub>m</sub>: 지연시간, ω<sub>n</sub>: 고유진동수, ζ: 감쇠율, T: 시간상수이다.

Table 4. Estimated model parameters for example 4

	R	K <sub>c</sub>	K <sub>p</sub>	K	ζ	W <sub>n</sub>	d <sub>m</sub>	T
NEW	1	0.7	1	0.7	0.1925	1.231	1	2.6

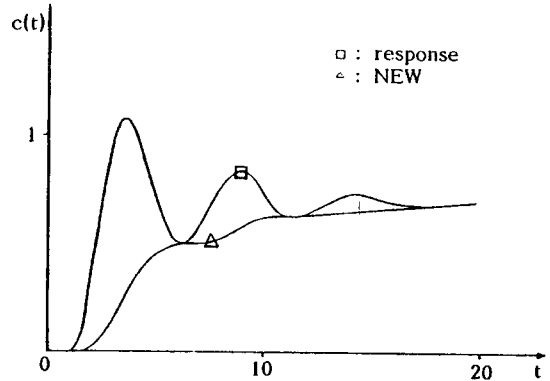


Fig. 8 Comparison of identification effects for example 4

### III. 결 론

본 논문에서 사용하였던 시스템 식별을 위한 방법 등은 추정모델이 2차 전달함수인 경우 기존의 방법들인 Meyer(1967),<sup>[3]</sup> Sten(1970), Sundaresan(1978) 등의 방법들이 갖고 있는 단점들, 즉 반응곡선상에서 정확한 기울기를 결정하기 어렵다는 점, 도표를 작성해야 하는 번거로운 점들을 잘 해결해 줄 뿐 만 아니라 훌륭한 식별효과를 보여주고 있다. 해석적 분석이 난해한 3차 전달함수인 경우에 있어서는 아직까지 발표된 적이 없는 새로운 해석적 방법을 사용하여 처음으로 식별을 시도하였다는데 큰 의의가 있다.

### 참고문헌

1. Minta Yuwana, and DALE E. Seborg, "A New Method for On-Line Controller Tuning", AICHE Journal, Vol. 28, No. 3, pp. 434-440, 1982.
2. Ziegler Nichols, "Optimum Settings for Automatic Controllers", Trans. ASME, Vol. 64, No. 11, pp. 759, 1942.
3. Meyer, J.R. et al., "Simplifying Process Response Approximation", Instruments



- and Control Systems, Vol. 40, No.12, pp. 76-79, 1967.
4. Sundaresan, K.R., et al., "Evaluating Parameters from Process Transients", Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. Vol.17, No. 3, pp.237-241, 1978.
  5. Oldenbourg, R.C., Sartorius, H., "The Dynamics of Automatic Controls", American Society of Mechanical Engineers, New York, pp.276, 1948.
  6. Sten, J.W., "Evaluating Second-Order Parameters", Instrumentation Tech. Vol. 17, No.9, pp.39-41, 1970.
  7. Cecil L. Smith, "Digital Computer Process Control", Intext Educational Publishers, 1972.
  8. P.B. Deshpande and R.H. Ash, "Elements of Computer Process Control with Advanced Control Applications", Instrument Society of America, 1981.
  9. SUH, B.S., "A Study on the Controller Tuning", The Korean Institute of Electronics Engineers, Vol.21, No.3, pp.46-54, 1984.
  10. SUH, B.S. "A Study on the Controller Tuning II," The Research Institute of Industrial Sciences Han Yang University, Vol.23, pp.7-13, 1986.
-