

온도제어용 자동동조 PID 제어기 설계와 RTP에의 적용

Development of auto-tuning PID controller for Temperature Control systems and Its Application to Rapid Thermal Processor

임재식*, °이영일**

* 충북 청원군 남이면 척북리 128-2 코닉시스템
(Tel : 043-269-4895; Fax : 043-269-4898 ; E-mail:jslim@kornic.co.kr)
**경남 진주시 가좌동 경상대학교 전기전자 공학부, 생산기술연구소 660-701
(Tel : 055-751-5370; Fax : 055-757-3974; E-mail :ciman@nongae.gsnu.ac.kr)

Abstract

An auto-tuning PID controller which is adequate for temperature control is developed based on relay-control and pole-placement. Using the critical frequency which is obtained from relay-control, parameters of assumed model are identified. Pole/zero-placement PID controller is designed for the identified model. The desired pole/zeros are determined so that the closed-loop has overshoot free step response. The developed auto-tuning PID controller was successfully applied to the temperature control of RTP.

1. 개요

PID제어기는 간단한 구조를 갖고 있어서 DDC(Direct Digital Control)를 위해 저렴한 비용으로 구현하기에 알맞다. 그리고 적분동작을 갖고 있기 때문에 상수형 설정치를 정상상태오차 없이 추종할 수 있고, 일정한 부하의란을 제거할 수 있다. Ziegler와 Nichols[1]은 한계주파수 응답에 기초한 체계적인 PID 동조식을 최초로 제안하였다. 이후 Astrom과 Hägglund[2] 릴레이 제어를 통하여 한계주파수 응답을 보다 쉽게 자동으로 구하는 방법을 제안하였다. 이 방법들은 기본적으로 한가지 주파수에 대한 시스템의 응답특성을 적절히 조정하는 것으로서 한계주파수 부근의 플랜트 주파수 특성을 적절히 고려해주시 못함으로 해서 지연시간이 긴 플랜트 등에 대해서 진동이 심한 동작특성을 보이게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 Tan[3]등은 릴레이 제어를 보완하여 두가지 주파수에 대한 응답특성을 알아내고 이를 이용하여 PID 제어기를 동조하는 방법을 제안하였고, Luyben[4]는 릴레이 실험으로부터 구한 플랜트의 주파수 응답을 이용하여 적당한 모델식의 파라미터를 찾아내는데 사용하고 찾아낸 모델에 대하여 PID 제어기를 설계하는 방법을 사용하였다.

본 연구에서는 온도제어시스템에 적합한 자동동조 PID 제어기를 개발하고자 한다. 따라서 온도제어시스템을 공통적으로 잘 표현 할 수 있는 플랜트 모델 형태를 이용하여 Luyben[4]의 방식대로 릴레이 제어를 통해서 각 플랜트의 구체적인 계수들을 찾아내는 자동동조 방식을 구현한다. 일단 플랜트 모델이 식별되면 다양한 제어방법을

사용하여 PID 제어기를 설계할 수 있겠으나, 본 연구에서는 페루우프의 극/영점 배치법에 기초하여 제어기를 설계하고자 한다. PID 제어기의 자유도의 한계에 따라 3개 이상의 시스템 극점을 임의로 조정할 수 없으므로, 원하는 극점의 패턴을 먼저 정한 후 페루우프 특성다항식에 그 패턴의 일정한 부분을 정하는 미지수를 두어 PID 계수와 함께 결정하는 방법을 사용한다. 개발된 자동동조 PID제어기를 486 산업용 PC를 이용하여 구현하고 이를 반도체 제조장비인 Sinch RTP(Rapid Thermal Processor)에 적용해 보았다. 특히 RTP는 오버슈트가 없는 계단응답을 필요로 하므로 이 조건을 만족하도록 극/영점 배치 설계에 있어서 목표극점 및 영점의 위치를 잡았다.

2. 릴레이제어를 통한 주파수응답의 획득

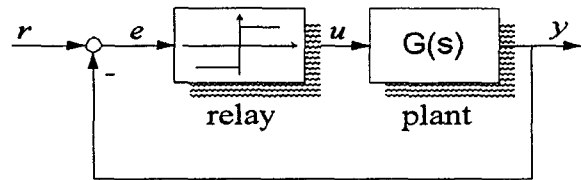


Fig.1 릴레이제어 시스템

Fig.1은 한계주파수응답을 구하기 위한 릴레이제어 구성도를 보인 것이다. Fig.2에서 레퍼런스 입력 r 은 상수이다. 그리고 여기에 사용된 릴레이는 출력 u 는 추종오차 e 의 부호에 따라

$$u = \begin{cases} \delta & (e \geq 0) \\ -\delta & (e < 0) \end{cases}$$

로 정의되는 이상적인 릴레이이다. 다음과 같은 해석에 의해 한계주파수응답을 구할 수 있다.

지금 플랜트의 출력에 포함된 고조파 성분이 무시할 수 있을 정도로 작다고 가정하자. 그러면, 정상상태에서 플랜트의 출력 y 는 주파수 ω_u 및 크기 a 를 갖는 하나의 정현파

$$y(t) = a \sin \omega_u t + y_{dc}$$