

릴레이 궤환을 이용한 자동동조 PID 제어기의 GUI-Program 개발과 수위온도제어 플랜트에의 실시간 적용

유병철*, 한진욱**, 이창구***

* 전북대학교 공과대학 제어계측공학과, ** 전자공학과, *** 전자·정보공학부

Development of GUI-Program for Auto-tuning PID controller using relay feedback and Application of level-temperature plant

^u*Byong-Chul Yoo · **Jin-wook Han · ***Chang-Goo Lee

* School of Control and Instrumentation Engineering, Chonbuk National University.

** School of Electronical Engineering, Chonbuk National University.

*** School of Electronical and Information Engineering, Chonbuk National University.

Abstract The purpose of this research is on figuring out the optimal PID parameter using critical gain and critical frequency that are obtained by relay feedback. The operating has been done under the condition that the least information about the object plant is given and also the operating is processed within the limit which dose not give rise to bad influence on the object plant. For simulation auto-tuning PID controller using relay feedback which also works on on-line at the same time is developed by the upper procedure. This algorithm is tried to apply to level-temperature control plant on a real time with PC Interface Card.

1. 서 론

산업 현장에 이용되는 제어기의 대부분이 PID 구조를 갖고, 이런 구조의 제어기는 동조가 잘 되었을 때 좋은 성능을 갖는다. 그러나, 동조과정은 복잡하고 시간과 비용 낭비가 심하며 소요되며 플랜트 동특성 변화시에 재동조하여야 한다는 어려움이 있다. 이와같은 현실로 볼 때, 알고리즘이 너무 복잡하지 않으면서 주어진 시스템에 대하여 빠른 시간에 정확한 동조를 통해 최적의 PID값을 온라인상에서 얻는 기술 실현에 대한 요구가 크게 증대하고 있다. 본 논문에서는 Astrom_Hagglund가 제안한 릴레이 동조이론을 많은 실험과 현장운전자를 통해 얻은 경험지식을 이용하여 다양한 플랜트에 대해서 Off-line이 아닌 On-line상에서 릴레이궤환에 의하여 발진 진폭의 크기와 주기를 자동조정하고 이값을 이용하여 PID 제어변수를 자동으로 설정하고 제어할 수 있는 자동동조 알고리즘을 GUI(Graphic User Interface)환경 하에서 사용자가 쉽게 쓸 수 있도록 Matlab프로그램을 이용하여 구현하였다. 여기에 사용된 PID 제어기는 Ziegler_Nichols PID 제어법과 Astrom_Hagglund PID제어법을 사용하였다. 위의 방법으로 개발한 자동동조 알고리즘 패키지를 여러 가상 플랜트에 적용시켜 동조의 적합성을 알아본 후에 실제 Pcl-718 Interface Card를 이용, 수위 온도 플랜트에 실시간 적용시켜 PID 계수를 구하고 제어한 실험결과 만족할만한 결과를 얻었다.

2. 릴레이궤환 자동동조 알고리즘

2.1 Basic Idea

본 논문에서는 고주파에서 적어도 π 의 위상지연을 갖는 시스템은 Relay 제어에서 주기 T_c 를 가지고 발진한다는 데 기초를 두고 진폭의 크기를 공정에 따라 자동조정하는 기능, 동조점 선정 기능, 공정특성에 따른 재동조 여부 등의 기능등을 개발하고 프로그램화하였다. 릴레이 궤환에 의한 자동동조기의 기본 블록다이어그램은 그림 1과 같다.

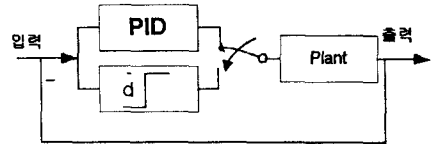


그림 1 자동동조기의 블록다이어그램

그림 1에서 보듯이 릴레이 궤환을 이용한 자동동조를 통해 적절한 PID 계수가 결정되면 제어기는 PID제어모드로 자동 변경되어 PID 제어를 수행한다.

그림 2는 릴레이 진폭 d 를 적절히 조절하여 Process 출력(y)이 일정한 주기와 진폭을 갖도록 한 파형을 나타낸 것으로, 전체공정에 영향을 주지 않는 범위에서 일정한 a , T_c 가 결정되도록 하는 것을 보여준다. 이를 조정하는 것이 동조의 중요한 내용이다.

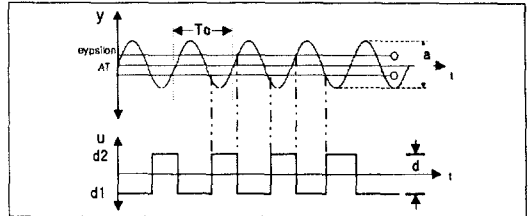


그림 2 릴레이궤환 입출력 신호

그림2에서 릴레이 입력(U)에 대한 출력이 일정 진폭과 주기를 갖는 진동이 3회 이상 연속 발생했을 때, Relay 증폭이 d , 출력신호의 peak-to-peak치가 a , 출력 발진의 주파수가 ω_c 일 때 임계 주기, 임계 이득은 다음과 같다.

$$K_c = \frac{4d}{\pi a} \text{------(1)}$$

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega_c} \text{------(2)}$$

논문에서는 출력신호의 발진이 노이즈의 영향에 덜 민감하게 하기 위해 hysteresis를 갖는 릴레이 궤환방법을 사용한다. 위의 방법으로 구한 임계값을 이용한 동조계수 결정 방법으로는 Ziegler_Nichols와 Astrom Hagglund의 표1과 같은 PID 동조계수 결정방법을 채택한다.

표 1 임계값을 이용한 PID 동조계수 결정

PID 계수	K	Ti	Td
Ziegler_Nichols	0.6Kc	0.5Tc	0.125Tc
Astrom_Hagglund	Kc/Am	aTc	1/ω _c ² T _c

Astrom_Hagglund 동조계수 결정은 임의의 증폭마진

(Amplitude Margin)을 유지하도록 하는 방법인데 일반적으로 샘플링 주기의 6배 정도로 설계하는 것이 바람직하다.

본 논문에서 사용되어지는 PID 알고리즘을 가장 보편적인 이산형 PID 제어기를 사용한다.

$$u(k) = u(k-1) + K_p[e(k) - e(k-1) + T_s/T_i e(k-1) + T_d/T_s(e(k) - 2e(k-1) + e(k-2))]$$

2.2 릴레이 개환을 이용한 GUI 프로그램 구성

사용자와 사용환경인 Matlab과 본 프로그램인 RelayLab과의 관계를 간단한 블록선도로 나타내면 다음과 같다.

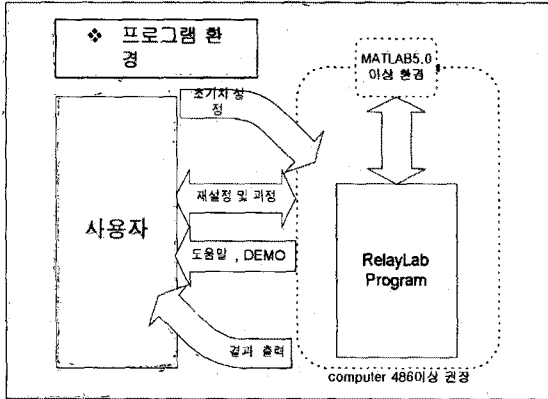


그림 3 GUI(Graphic User Interface) 환경

본 프로그램은 User로부터 최소의 정보를 요구하는데 User가 설정하고자 하는 플랜트에 대한 이미 알고있는 정보를 입력하는 부분으로 허용오차, 플랜트 설정, 지연 시간 입력, Sampling time의 설정, 제어입력의 상,하한 값, 우세시정수 등의 정보를 입력하는 구간이다. 또한 User가 동조 과정을 쉽게 이해할 수 있도록 도움말 및 DEMO과정을 넣었다. 도움말은 프로그램 실행 도중 언제든지 초기화하면 상단의 Help 메뉴바를 선택하면 프로그램에 대한 전반적인 설명과 주의점 등을 참조할 수 있도록 구성되었다.



그림 4 본 프로그램의 Main 화면

초기화면 상단의 메뉴바는 Help, Zoom으로 구성된다. Zoom 메뉴는 출력 그래프를 더 자세히 관찰하고자 할 경우, 편리성을 도모하기 위한 수단으로 쓰인다. 전반적으로 User는 누름버튼만으로 자신이 RelayLab v1.0을 실행하고 자신이 원하는 결과를 고찰할 수 있도록 설계되었다. 우측의 RelayLab v1.0의 가동부는 5개의 누름버튼으로 구성되는데 실행은 원하는 누름버튼을 누름으로써 구현된다.

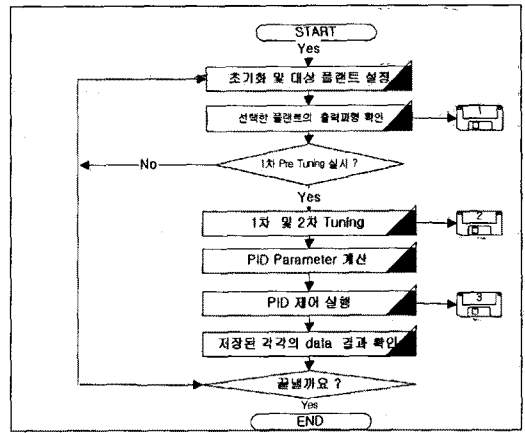


그림 5 릴레이 개환 자동동조 PID 제어 프로그램의 전체 순서도

그림 5는 본 프로그램의 간략화된 전체 순서도로 사용자가 원하는 플랜트 및 초기조건을 입력하면 1차 및 2차 자기동조를 통해 임계 이득, 임계 주파수를 얻고, PID 제어변수의 성능 평가를 위해 PID 제어 모드로 전환, 다양하게 변화하는 설정치에 대한 출력을 고찰할 수 있다. 사용자는 언제든지 중간중간의 출력을 누름버튼으로 재확인할 수 있고 초기조건도 임의로 변경할 수 있다. 과정 및 성능 평가는 3절에서 보인다.

3. 실험 방법 및 결과

본 논문에서 구현한 자동동조 PID 패키지의 성능과 현실성을 실험하고, 이 과정을 통해 얻은 임계값을 이용하여 Ziegler_Nichols의 동조식과 Astrom_Hagglund의 동조식으로 PID 제어기를 설계하였을 때의 결과를 비교하였다. 임의의 플랜트는 다음 표와 같이 선택했다.

초기 조건 : 샘플링 시간 : 1sec
 허용 오차 : 0.02%
 최대,소 입력 허용치 : 1, 0.2

1차 플랜트	$1 / (1 + 12.5s)$
1차지연플랜트	$e^{-2s} / (1 + 12.5)$
2차 플랜트	$e^{-2s} / (s^2 + 0.692s + 1)$
비최소위상플랜트	$\frac{(1 + 2s)e^{-2s}}{(1 + 10s)(1 + 7s)(1 + 3s)}$

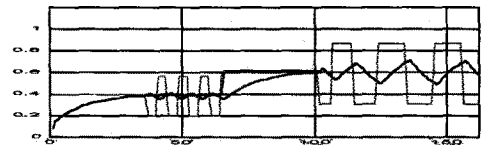


그림 6.1 1차 플랜트의 릴레이 실험결과

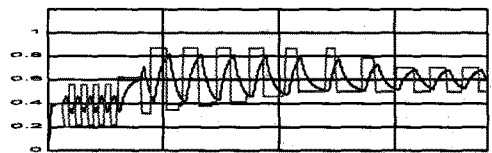


그림 6.2 1차 지연계의 릴레이 실험 결과

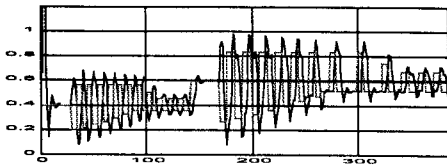


그림 6.3 2차계의 릴레이 발진

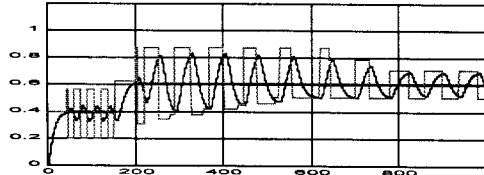


그림 6.4 3차계 비최소위상 플랜트 릴레이 발진

그림 6.1~4의 실험 결과 1차 플랜트는 그림 6.1와 같이 스위칭 순간에 출력값(RED)의 부호가 변경되고 출력파형이 삼각파에 가깝다는 것을 알 수 있다. 2차계는 상당히 불안정한 플랜트이고 3차계 비최소위상 플랜트 역시 불안정한 제로를 가지고 있지만 안정한 발진 출력을 얻을 때까지 자동으로 릴레이진폭(GREEN)이 조절됨을 보여준다. 전체공정에 설정치가 1인데 릴레이 실험이 안정 영역에서 동작하여 출력이 릴레이 동조시작점(BLUE)에서 발진함을 보여준다. PID 제어결과 Ziegler_Nichols방법이나 Astrom_Hagglund 방법 모두 양호한 결과를 얻었다. 특히 Ziegler_Nichols방법에 의한 결과는 지연이 적을 때는 Astrom_Hagglund 방법 결과보다 우수한 성능을 보이나 지연이 클 때는 심한 오실레이션을 보인다. 반면 [2]에 의한 방법은 지연의 크기에 크게 영향을 받지 않았다. 비교는 그림 7에 나타난다.

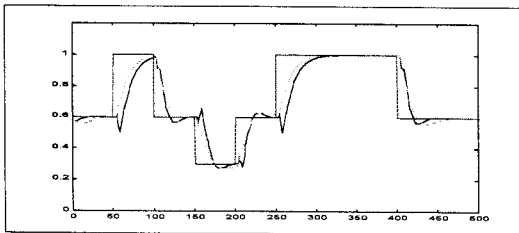


그림 7 1차지연계의 PID 결과 비교

Ziegler_Nichols(RED Kp:2.77 ti:7.5 td: 1.87)

Astrom_Hagglund(cyan Kp:0.77 ti:7.5 td:0.76)

그림 7은 수위온도 제어 플랜트의 실시간 제어를 위한 시스템 구성도로 DA를 통해 가변 Heater로의 입력과 2개의 AD변환기를 통해 플랜트의 물탱크, 배수측 온도를 출력으로 얻어 동조 알고리즘을 적용하도록 구성했다.

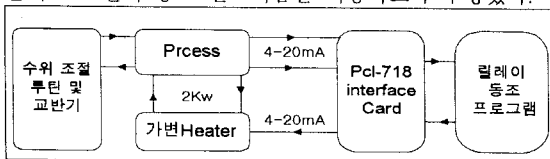


그림 8 수위-온도 제어 플랜트 실시간 제어를 위한 하드웨어 구성도

그림 9는 릴레이제환을 이용한 자기동조 알고리즘을 수위온도 제어에 실시간 적용한 결과이다.

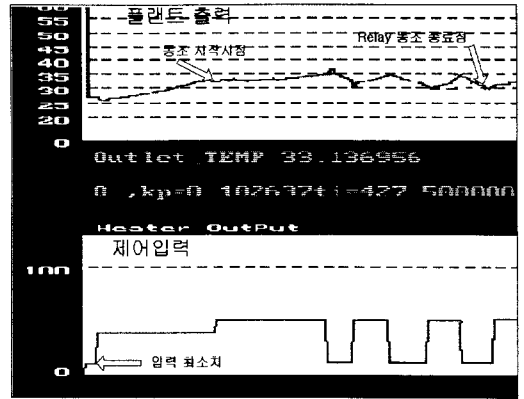


그림 9 그림 8의 시스템으로 구성된 수위-온도 플랜트에 대한 릴레이 제환 자동동조 실험 결과

샘플링시간은 15초로 구성했고 그림 9와 같이 구현한 자동동조 패키지를 수위 온도 제어 플랜트에 실시간 적용했을 때 양호한 결과를 얻을 수 있었다 그림 9의 실험 결과로 Kp=0.103, Ti=427.5, Td=43.315를 얻었고 40,60,80도로 목표치를 추종하도록 제어를 설계한 결과 앞의 그림 7의 결과와 흡사한 만족할만한 결과를 얻었다.

4. 결 론

본 논문에서 릴레이 제환이 모든 플랜트에 대하여 사용자로부터 얻은 최소한의 정보를 가지고 제어 시스템에 대한 적합한 자동동조의 실험을 시스템의 안정한 영역(시스템이 고장을 일으키지 않는 영역)에서 행하여지고 PID계열의 제어기에 적용한 결과 성능이 우수함을 보였다. 또한 현재까지의 시행 착오를 거치는 동조가 아닌 GUI(Graphic User Interface) 환경하에서 사용자가 자신이 선택한 공정 플랜트에 대한 최적의 초기 PID 제어 변수를 실시간으로 분석할 수 있어 전문가의 시행착오법이 주류인 현장에서 발생하는 비용과 시간의 낭비를 막을 수 있음을 보였고 나아가 현장 업무에 많은 도움을 줄 수 있으리라 기대된다. 본 자동동조 알고리즘을 Interface Card을 이용 수위온도 플랜트에 실시간 적용하여 현장 적용의 가능성을 타진할 수 있었다. 현장에 사용되어질 경우 기존 PID제어기의 변경 없이 간편하게 부착하는 형태의 구현이 가능하다.

차후 연구과제는 여러 공정에서 적용하여 범용적으로 작동하도록 규칙을 좀더 일반화하여 범용 자동동조 기능을 갖도록 하고 동조후 PID 실행중에 외란이나 동특성 변화에 대해 견실한 적응 PID 제어를 설계하고자한다.

[참 고 문 헌]

- [1] K. J. Astrom and B. Wittenmark, Computer Controlled Systems Theory and Design, Prentice-Hall Inc., N. J., 1984
- [2] R. A. Mollenkamp, C. L. Smith and A. B. Corripio, "Designing a Digital Controller for Fast Process," Instrument Control System, Vol. 46, No. 8, pp. 47-49, Aug., 1973
- [3] K. J. Astrom and T. Hagglund, Automatic tuning of PID Controllers, ISA, Research Triangle Park, North Carolina, 1988
- [4] K. J. Astrom and T. Hagglund, "A New Autotuning Design," Proc. IFAC Int. Symp. on Adaptive Control of Chemical Processes, Copenhagen, Denmark, 1988
- [5] 이창구의 2인, "경험적 규칙을 이용한 자기동조 PID 제어기" 대한 전기학회 논문지, Vol. 39, NO. 5, pp. 485-493, 1990
- [6] 이창구, "경험적 지식을 이용한 페루프 제어기 구현에 관한 연구", 박사학위논문, 1991.
- [7] Patric Marchard, "Graphics and GUI with Matlab".