

국산 분산 제어 시스템의 PID 기능 블록 개선

변승현, 마복렬

한전 전력연구원

전화 : (042) 865-5273 / 팩스 : (042) 865-5304

Improvement of a PID Function Block of a Domestic DCS

S.H.Byun, B.R.Ma

KEPRI, KEPCO

little@kepri.re.kr

Abstract

Used analog control systems have been converted into digital control systems due to performance degradation and difficulty of maintenance. There are few domestic DCS (Distributed Control System)s that have been applied to power plant. To apply a domestic DCS to power plant, the reliability, redundancy, and fault tolerance of DCS is important. Besides those items, the control action of control function block is also important. In this paper, we describe the requirements that PID control function block has to have, and implement a PID control function block that satisfies those requirements. Finally, simulation result using digital simulator for boiler system in thermal power plant shows the validity of a implemented PID control function block.

1. 서론

마이크로 프로세서의 발달과 함께 산업현장에 등장한 분산 제어 시스템 관련 기술은 발전소 제어 시스템의 핵심적인 기술이며 선진국들이 기술이전을 기피하는 고급 첨단 기술이다. 현재 적용되어 있는 발전소 분산 제어 시스템의 대부분은 Bailey, ABB, Siemens, Westinghouse 등의 외국설비로써 일괄 계약 형태로 시스템 전체가 외국 회사의 설계에 의해서 도입 설치되어 있다. 이러한 상황에서 국산 분산제어 시스템의 기술확보와 기술 자립차원에서 오래된 아날로그 제어 시스템의 디지털 제어 시스템으로의 개체 작업에 국산 분산 제어 시스템의 적용을 추진하고 있다[1]. 발전소에서의 국내 분산 제어 시스템의 적용은 데이터 로깅 시스템(DLS)이 주류를 이루고 있으며, 분산 제어 시스템이 설치되어 적용되었다 하더라도, 제어 시스템으로의 활용은 미비한 실정이다. 국산 분산 제어 시스템의

발전소에서의 제어 시스템으로의 적용을 위해서는 시스템의 안정화와 이중화, 제어 네트워크 관련 기술도 중요하지만, 제어를 담당하는 기능블록의 기능 또한 매우 중요하다. 발전소 등의 대규모 공정 플랜트에서 사용하고 있는 대부분의 상용 제어기는 PID 제어기이며, 온도 루프를 제외한 대부분의 제어루프가 PI 제어기를 채용하고 있다[2]. PID 기능 블록은 PID 제어 연산 뿐만 아니라, 상용 제어기로의 활용을 위해서는 여러 제어 운전 모드를 가지고 있어야 하며, 제어 모드간 전환시 범프가 없어야 하며, 그 밖의 여러 기능들을 구비하고 있어야 한다[2]. 본 논문에서는 분산 제어 시스템의 PID 기능 블록이 가져야 할 기능을 기술하고, 기술한 내용을 토대로 발전소에 적용 예정인 분산 제어 시스템을 대상으로 PID 기능 블록을 개선 구현하고, 제어 시스템의 검증용 위해 개발되어 활용 중인 발전소 보일러 시뮬레이터와 연계한 모의 시험을 통해 개선 구현한 PID 기능 블록의 효용성을 보인다.

2. PID 기능 블록시 고려사항

본 절에서는 PID 기능 블록을 구현하는데 있어서 고려해야 하는 사항들을 기술하고자 한다.

2.1 PID 알고리즘과 샘플링 주기

디지털 PID 제어기 알고리즘을 구현하는데 있어서, 중요한 사항은 아날로그 PID 제어기의 디지털 PID 제어기로의 변환기법과 샘플링 주기이다. 이산화 기법과 샘플링 주기는 제어기의 동특성에 영향을 줄 뿐만 아니라, 시스템 안정도에도 영향을 준다[3]. 먼저 디지털 PID 제어기를 구현하는 알고리즘을 알아보면 식 (1)의 이상적인 아날로그 PID 제어기를 backward difference 기법($s = \frac{1-z^{-1}}{T}$)을 이용하여 이산화 한 후, 속도형을 취하면 식 (2)의 디지털 PID 제어기를 얻을 수 있다. 식 (2)의 디지털 PID 알고리즘이 본 논문에서 소개하는 PID 기능블록에서 활용하는 알고리즘이다.

$$u(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

$$\Delta u(k) = K[(e(k) - e(k-1)) + \frac{T}{T_i} e(k) + \frac{T_d}{T}(PV(k) + PV(k-2) - 2PV(k-1))] \quad (2)$$

샘플링 주기를 결정하는 방법은 대부분 경험적인 규칙이며, 가장 쉽게 이용할 수 있는 샘플링 주기 결정 방법은 지배적인(dominant) 시상수의 대략 10분의 1 정도 되게 샘플링 주기를 선정하는 방법이다[4]. 대부분의 발전소 공정의 시상수가 크므로 보통의 분산 제어 시스템에서 채용하는 아날로그 제어의 샘플링 주기인 200ms ~ 600ms 정도면 충분하다고 볼 수 있다.

2.2 PID 제어가 가져야 할 추가적인 기능

PID 제어기는 식 (2)에 의한 알고리즘에 의해서 샘플링 주기마다 제어기 출력을 산출하지만 하면 제어기로서의 역할은 다 한다고 볼 수 있다. 하지만 산업 응용에 따른 부가적인 요구를 만족하고, 산업 응용에의 적용을 위해서는 PID 알고리즘의 계산 수행 이외에도 다른 부가적인 기능도 수용해야만 한다. 본 절에서는 PID 제어기 기능 블록이 가져야 하는 부가적인 기능에 대해서 언급하고자 한다.

가. 4가지 제어 모드의 수용

공정 제어의 특성상 PID 제어기는 수동 모드, 자동 모드, 리모트 모드, 트래크 모드의 4가지 제어 모드를 수용하여야 한다. 수동 모드는 제어기의 수학적 계산 값에 관계없이 운전원의 제어기 조작 값이 제어기 출력이 되는 모드를 말하며, 자동 모드는 제어기의 수학적 계산 값이 제어기 출력 값이 되며, 설정값을 운전원이 해당 제어기의 설정값 파라미터를 변경함으로써 설정값을 발생시키는 모드를 말한다. 리모트 모드는 자동 모드와 비슷하나, 설정값을 외부 기능 블록으로부터 받아들이는 제어 모드를 말한다. 트래크 모드는 수동 모드와 비슷하나, 제어기 출력을 다른 기능 블록으로부터 받아들이는 제어 모드를 말한다.

나. 제어 모드간 범프가 없는 전환

제어 모드간 전환시 제어 출력에 범프(bump)가 없게끔 해야하며, 적분항의 wind-up 방지기능도 가지고 있어야 한다. 수동 모드에서 자동 모드로 전환한다거나 트래크 모드에서 자동 모드로 전환시 제어 출력에는 범프가 없어야 한다. 이 기능을 구현하기 위해서는 모드 전환시 이전 모드의 제어기 출력 값을 전환 모드의 제어기 출력이 트래킹하고 있어야 하며, 수동 모드나 트래크 모드시에는 설정값이 공정값을 트래킹하고 있어야 한다. 또한 리모트 모드로 전환시에는 설정값이 급작스럽게 변하는 것을 방지하기 위하여 필터를 두는 것이 좋다. 대규모 공정 제어에서 흔히 볼 수 있는 캐스케이드 제어를 제어 모드간 범프가 없게끔 구성하기 위해서는 슬레이브 제어기가 수동이거나 트래크 모드일 경우에는 마스터 제어기의 출력이 슬레이브 제어기의 공정값을 추종하는 트래크 모드로 운전되어야 한다.

다. 선행 신호의 수용

경우에 따라서는 선행신호도 수용할 수 있어야 한다. 제어기에서 선행신호를 입력으로 수용하게끔 하여 선행신호의 존재로 인한 불필요한 외부로직의 추가가 필요없게끔 하는 게 좋다. 제어기에서 선행 신호를 처리할 경우에는 제어기 출력에서 선행 신호를 뺀 값을 제어 알고리즘 계산의 이전 출력이 추종하게끔 하여야 모드 전환시 범프가 생기지 않고, 제어 동작도 올바르게 된다.

라. 제어 모드간 우선 순위 부여

제어모드간 우선순위가 고려하여 모드간 충돌이 일어날 경우에 자동이나 리모트 모드보다는 트래킹이나 수동 모드의 우선순위가 높게끔 구성을 해야한다. 본 논문에서 구성하는 PID 제어기에서는 수동 모드가 가장 높은 우선순위를 가지며, 그 다음에 트래크 모드, 자동/리모트 모드 순위로 우선순위를 부여한다.

마. 제어 입력으로서 에러의 수용

제어기는 설정값과 공정값로부터 에러를 산출하여 에러를 수정하기 위한 제어 출력을 계산하고, 구동기를 구동하여 공정값이 설정값을 추종하게 한다. 보통의 제어기는 설정값과 공정값을 입력으로 받는다. 그러나 산업 응용에 따라서는 에러를 입력으로 받는 경우가 있으며, 실제 현장에서 에러가 입력으로 제어기에 작용하는 사례가 종종 있다. 따라서 에러를 직접 PID 기능 블록에서 받는 것도 요구되어진다.

바. 자동/리모트 모드 전환에 대한 허가 신호 수용

응용에 따라서 제어기는 자동 모드나 리모트 모드로 전환되어서는 안되는 경우가 있다. 즉 자동 모드나 리모트 모드로 전환 되기 전에 만족해야할 조건이 있는 경우가 있다. 이러한 경우에는 운전원이 자동으로 제어기를 전환할 수 없도록 보호 장치를 해 놓아야 한다. 그래서 자동 운전 조건이 되지 않을 경우에는 운전원의 조작에 의해 자동 모드로 전환되지 못하도록 외부에서의 허가 신호를 입력으로 받는 기능이 구현되어야 한다.

3. 개선 구현한 PID 기능 블록

본 논문에서 구현한 PID 기능 블록의 외관은 그림 1과 같다.

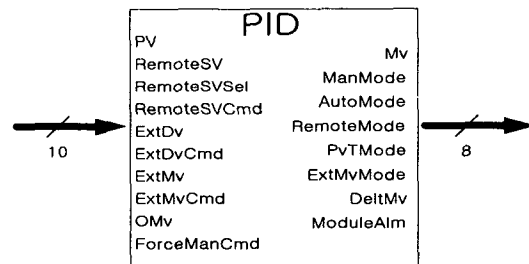


그림 1. PID 기능 블록의 외관

그림 1의 PID 기능 블록은 10개의 외부 입력과 8개의 외부 출력을 가지며, 46개의 내부 파라미터를 갖고 있다. 그림 1의 입력과 출력에 대해서 설명을 하면 표 1과 같다. 이탤릭체로 쓰여진 항목은 디지털 값을 의미하며, 나머지는 아날로그 값을 의미한다.

표 1. 구현 PID 기능블록의 입력력 신호 설명

입 력	PV	공정값
	RemoteSV	리모트 설정값
	RemoteSVSel	리모트 모드 인에이블
	RemoteSVCmd	리모트 모드 선택 스위치
	ExtDv	에러입력
	ExtDvCmd	에러입력 선택 스위치
	ExtMv	트랙신호
	ExtMvCmd	트랙모드 선택 스위치
	OMv	선행신호
	ForceManCmd	강제수동 선택 스위치 (자동/리모트 모드 허용 신호)
출 력	Mv	제어기 출력
	ManMode	수동모드 상태 알림
	AutoMode	자동모드 상태 알림
	RemoteMode	리모트모드 상태 알림
	PvTMode	설정값의 공정값 트랙 상태 알림
	ExtMvMode	트랙모드 상태 알림
	DeltMv	제어기 출력의 편차 출력
	ModuleAlm	모듈 알람 출력

표 2. 기존 PID 블록과 구현 PID 블록의 기능 비교

	개선전 PID	구현한 PID
4가지 제어모드 수용	○	○
제어모드간 범프없는 절환	×	○
선행신호의 수용	×	○
제어모드간 우선순위 부여	○	○
제어입력으로 에러 수용	×	○
자동 모드 허가신호 수용	×	○
SV의 속도 제한 기능	×	○

구현한 PID 기능 블록과 개선하기전의 PID 기능 블록의 기능 구현 여부에 대한 비교는 표 2와 같고, 개선 구현한 PID 기능블록의 블록 다이어그램은 그림 2와 같다.

4. 모의 실험

4.1 모의 실험 환경

본 논문의 모의 실험에서는 발전소 구성 요소에 대해서 열수력 모델을 적용하여 DCS 검증용으로 개발한 시뮬레이터를 이용한다[1]. 시뮬레이터는 다수의 I/O 카드를 내장한 산업용 PC로 이루어졌으며, 모델은 200 [ms]의 주기로 갱신되어진다. DCS와 시뮬레이터 간의 인터페이스는 해당 신호에 대한 신호선 결선을 통해 이루어진다. 시뮬레이터 내에도 제어 로직이 있어서, 기동 초기에는 시뮬레이터내에 내장된 제어 로직으로 모델이 운전되다가, 컴퓨터 화면상의 조작으로 DCS 제

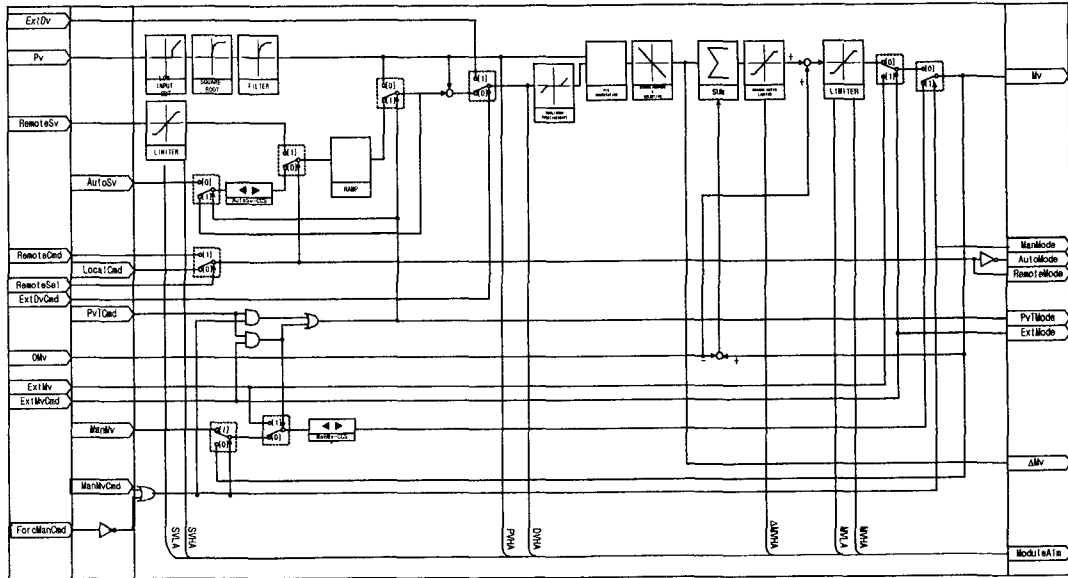


그림 2. 개선 구현한 PID 기능블록의 블록 다이어그램

어로직에 의한 보일러 모델의 운전이 이루어지게 된다. 모의 실험 환경은 그림 3과 같다.

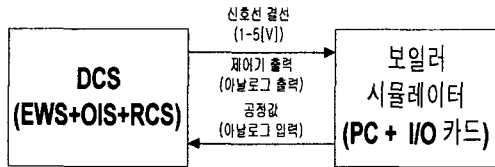


그림 3. 모의 실험 환경

4.2 모의 실험

모의 실험에서는 발전소 보일러 제어 루프 중 캐스케이드 제어로 운전되고 있는 드림 수위 제어 루프를 대상으로 삼았다. 그림 1의 PID 기능 블록을 이용한 제어 로직 구성도는 그림 4와 같다.

드림 수위 제어 루프는 기동 초기에는 드림 수위만 고려하는 1요소 제어(PID1)로 이루어지다가 주증기량이 25%이상 올라가면 드림수위, 급수량, 주증기량을 고려하는 3요소 제어(PID2 + PID3)로 전환되어진다. 따라서 1요소 제어시에는 PID3이 PID1 출력을 트랙해야 하며, 3요소 제어시에는 PID1이 PID3의 출력을 트랙해야 한다. 또한 3요소 제어시에는 PID3이 수동모드이거나 트랙모드일 경우에는 PID2가 PID3의 공정값을 트랙해야 한다. 그림 4의 로직에 앞서 언급한 내용들이 반영되어 있다.

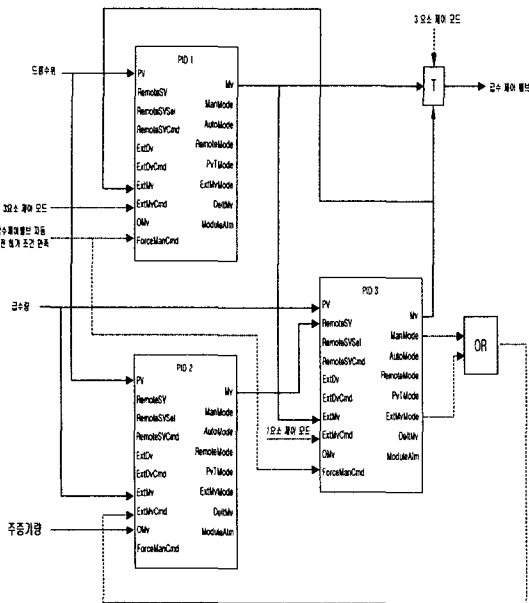


그림 4. 드림 수위 제어 로직 구성도

그림 5의 모의 실험 결과에서는 주증기량 출력 75%에서 그림 4의 PID3 제어기의 제어 모드를 수동모드에서 리모트 모드로 전환한 후 주증기량 출력을 60%까지 내렸다가 다시 75%까지 올렸을 경우의 드림 수위 제어결과를 보여준다. 그림 5의 모의 실험 결과에서 보다시피 모드 전환과 출력 증감발시에도 드림 수위가 큰 오버슈트나 언더슈트 없이 제어가 잘 이루어짐을 볼 수 있다.

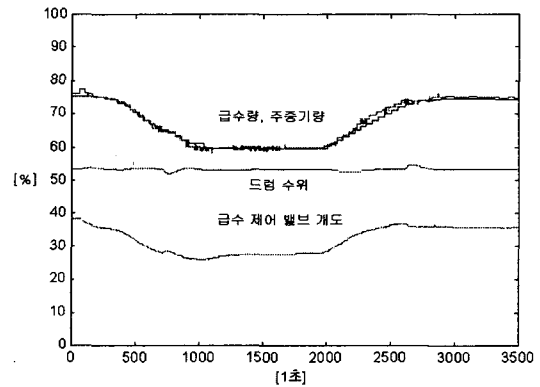


그림 5. 모의 실험 결과

5. 결론

본 논문에서는 제어 시스템의 산업 응용을 위해서 PID 기능 블록이 가져야하는 요구사항들을 기술하고, 기술한 요구사항에 기반하여 분산 제어 시스템의 PID 기능 블록을 개선 구현하고, 열수력 모델을 이용하여 발전소 보일러 시스템을 모사한 시뮬레이터를 이용한 모의실험을 통해 구현한 PID 기능 블록의 효용성을 보였다. 구현한 PID 제어기는 실제 발전소 제어에 유용하게 사용할 수 있으리라 기대되며, 본 논문에서 언급한 PID 제어기가 가져야할 추가적인 기능은 PID 제어기뿐만 아니라 다른 종류의 제어기 기능 블록 구현 시에도 활용할 수 있으리라 본다.

참고문헌

- [1] 한전 전력연구원, "발전소 보일러용 디지털 분산제어 시스템 개발(I)", 중간보고서, 1999
- [2] 변승현, 마복렬, "디지털 PI 제어기 구현에 관한 고찰", 시뮬레이션학회, 춘계학술대회, 2000
- [3] KATSUHIKO OGATA, "Discrete Time Control Systems", Prentice-Hall, 1987
- [4] Carlos A. Smith and Armando B. Corripio, "Principles and Practice of Automatic Process Control", WILEY, 1997
- [5] Eurotherm, "LIN Blocks Reference Manual", 1993